



UESB
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO SUDOESTE DA BAHIA



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO – PPG
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – MNPEF

Raphael Lima Sodré

DA COZINHA PARA A SALA DE AULA: Possibilidades de um Ensino de Física à Luz da Alfabetização Técnica Utilizando a Painha de Pressão como Equipamento Gerador.

Dissertação de Mestrado

Vitória da Conquista – BA

Setembro de 2024

Raphael Lima Sodré

DA COZINHA PARA A SALA DE AULA: Possibilidades de um Ensino de Física à Luz da Alfabetização Técnica Utilizando a Painela de Pressão como Equipamento Gerador.

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Sociedade Brasileira de Física (SBF), vinculado à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) – Polo 62 –, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

Área de Concentração: Física na Educação Básica
Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio
Temática: A Física na Cozinha
Orientador: Prof. Dr. Ferdinand Martins da Silva
Coorientador: Prof. Dr. Luizdarcy de Matos Castro

Vitória da Conquista – BA

Setembro de 2024

S663c

Sodré, Raphael Lima.

Da cozinha para a sala de aula: possibilidades de um ensino de física à luz da alfabetização técnica utilizando panela de pressão como equipamento gerador. / Raphael Lima Sodré, 2024.

416f. il.

Orientador (a): Dr. Ferdinand Martins da Silva.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-graduação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Vitória da Conquista, 2024.

Inclui referência F. 86-90.

1. Alfabetização técnica. 2. Ensino de física. 3. Equipamentos geradores. 4. Física da panela de pressão. I. Silva, Ferdinand Martins da. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física- MNPEF. III. T.

CDD 530.07

Catálogo na fonte: Karolyne Alcântara Profeta – CRB 5/2134

Biblioteca UESB – Campus Vitória da Conquista -BA



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL
EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
Área de concentração: Ensino de Física



ATA DE BANCA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

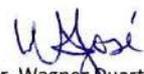
Aos treze dias do mês de setembro de 2024, às 14h00, na sala 5, do módulo IV, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, campus de Vitória da Conquista, instalou-se a Banca Examinadora para avaliação da dissertação intitulada *"Da cozinha para a sala de aula: possibilidades de um ensino de física à luz da alfabetização técnica utilizando a panela de pressão como equipamento gerador,"* de autoria de Raphael Lima Sodré, discente do Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. A banca examinadora foi presidida pelo professor Dr. Ferdinand Martins da Silva, orientador do mestrando e contou com a participação do professor Dr. Walter Duarte Araújo Filho e do professor Dr. Jorge Anderson Paiva Ramos, na condição de examinadores; tendo sido APROVADA. Entretanto, para que o respectivo título possa ser concedido, com as prerrogativas legais dele advindas, o exemplar definitivo da referida dissertação deverá ser entregue(enviada), na secretaria do mestrado, em um prazo máximo de 60 (sessenta) dias, com as alterações e/ou correções sugeridas pelos membros da banca, para que possa ser homologado pelas instâncias competentes da UESB.


Prof. Dr. Ferdinand Martins da Silva
Presidente da Banca Examinadora/Orientador


Prof. Dr. Jorge Anderson Paiva
Examinador interno


Prof. Dr. Walter Duarte Araújo Filho
Examinador externo


Raphael Lima Sodré
Discente


Prof. Dr. Wagner Duarte José
Coordenador do PPG-MNPEF

2024



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO Mestrado Nacional Profissional
EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
Área de concentração: Ensino de Física



**DA COZINHA PARA A SALA DE AULA: POSSIBILIDADES DE UM ENSINO DE FÍSICA
À LUZ DA ALFABETIZAÇÃO TÉCNICA UTILIZANDO A PAINEL DE PRESSÃO
COMO EQUIPAMENTO GERADOR**

AUTOR: RAPHAEL LIMA SODRÉ

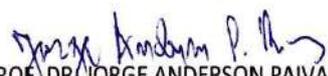
DATA DE APROVAÇÃO: 13 DE SETEMBRO DE 2024

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em convênio com a Sociedade Brasileira de Física – SBF, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Área de concentração: Ensino de Física.

COMISSÃO JULGADORA


PROF. DR. FERDINAND MARTINS DA SILVA
PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA/ORIENTADOR


PROF. DR. JORGE ANDERSON PAIVA
EXAMINADOR INTERNO


PROF. DR. WALTER DUARTE ARAÚJO FILHO
EXAMINADOR EXTERNO

2024



Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física - MNPEF
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB
Estrada do Bem Querer Km, 04, Vitória da Conquista - BA
CEP: 45031-300



À toda minha família, em especial a meu pai, Joilson Nunes Sodré (in memoriam) e à minha mãe, Manoelita Lima Sodré, por todo o apoio recebido durante toda minha vida, meu muito obrigado. E à minha filha, Melissa Carvalho Sodré. Este trabalho é dedicado a vocês.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por conceder a saúde necessária para que eu pudesse realizar esta pesquisa.

À minha família, sobretudo meu pai (*in memoriam*), Joilson Nunes Sodré, e minha mãe, Manoelita Lima Sodré, por todo apoio, compreensão, incentivo, paciência e investimento que proporcionaram a mim durante todo meu processo de formação cidadã e acadêmica ao longo da vida.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF), pela idealização do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), ao qual possibilita o aperfeiçoamento acadêmico de professores de Física atuantes na Educação Básica e à melhoria do ensino.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) – código de financiamento 001, pelo apadrinhamento financeiro ao programa MNPEF e concessão da minha bolsa durante todo o período de vigência do programa.

Ao prof. Dr. Valmir Henrique de Araújo, pelas orientações no antigo projeto sobre Ensino de Acústica com o monocórdio de Pitágoras, durante os dois primeiros semestres do mestrado. Uma excelente e merecida aposentadoria para você.

Aos professores Dr. Luizdarcy de Matos Castro (coorientador) e Dr. Ferdinand Martins da Silva (orientador) pelas orientações durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos demais professores do MNPEF do polo 62 (UESB) que fui aluno ao longo das disciplinas semestrais. E um agradecimento especial à prof^a. Dr^a. Cristina Porto Gonçalves, pois, se não fosse ela, eu não estaria no programa e não teria desenvolvido a SD como ela foi.

Aos membros da banca examinadora, prof. Dr. Jorge Anderson Paiva Ramos (examinador interno) e prof. Dr. Walter Duarte Araújo Filho (examinador externo), pelas avaliações, críticas construtivas e sugestões de melhorias quanto à minha pesquisa.

À direção do Colégio Polivalente de Caravelas, pela compreensão e presteza em organizar meus horários de trabalho de forma compatível com as atividades semanais do mestrado, além de permitir que a pesquisa e o produto educacional fossem aplicados nos espaços da escola. E também aos alunos que aceitaram participar da Sequência Didática.

“[...] ninguém vai bater tão forte quanto a vida. Mas a questão não é o quão forte ela consegue bater, mas sim o quanto você consegue apanhar e continuar seguindo em frente. [...]. É assim que se chega à vitória”

(Rocky Balboa, 2006)

RESUMO

Esta dissertação apresenta a proposta de um Ensino de Física com base no acervo cultural culinário da cidade de Caravelas-BA, por meio de uma abordagem dialógico-problematizadora. O objetivo é implementar e avaliar uma Sequência Didática de ensino e aprendizagem envolvendo a temática “*A Física na Cozinha*” (Migliavacca; Witte, 2014), dando-se ênfase às discussões realizadas sobre fenômenos físicos (térmicos e mecânicos) associados ao uso da panela de pressão durante o cozimento dos alimentos. A metodologia da pesquisa é caracterizada como qualitativa e exploratória, com foco para a abordagem prática experimental, e leva em consideração os “*Obstáculos Epistemológicos*” e as “*Rupturas Epistemológicas*” de Bachelard (1991; 1996). Cinco partes fundamentais da pesquisa são: 1. Levantamento bibliográfico de trabalhos associados ao uso da panela de pressão no Ensino de Física; 2. Adaptação de uma panela de pressão convencional para aferir temperatura e pressão em seu interior (Nunes, 2017), sendo este o núcleo da problematização da pesquisa; 3. Aplicação de uma Sequência Didática composta por aulas e atividades teóricas, experimentais e computacionais numa turma da 2ª série do Ensino Médio de uma escola da rede pública estadual de ensino; 4. Obtenção do feedback pedagógico dos educandos; 5. Avaliação da eficácia da Sequência Didática e de suas contribuições para o Ensino de Física. O aporte teórico traz os pressupostos de um Ensino de Física à luz da “*Alfabetização Técnica*” (Bazin, 1977a) e dos “*Equipamentos Geradores*” (Bastos, 1990) em articulação com a dinâmica metodológica dos “*Três Momentos Pedagógicos*” proposta por Delizoicov e Angotti (1990), visto que possuem bases nas concepções pedagógicas de Paulo Freire por promoverem uma Educação que valoriza a liberdade e as visões de mundo dos educandos, posicionando-os no centro do processo de ensino e aprendizagem e tornando-os sujeitos ativos na construção do conhecimento científico. Os dados obtidos foram submetidos a uma análise qualitativa ao qual emergiram resultados que apontavam para o êxito da Sequência Didática implementada, visto que muitos educandos apresentaram evolução satisfatória ao longo do processo educativo. As atividades diversificadas foram um ponto relevante para a eficácia da Sequência Didática pois permitiram um melhor engajamento dos educandos nesse processo, motivando-os a compreender de forma abrangente, crítica e reflexiva os fenômenos físicos associados ao uso da panela de pressão durante o preparo dos alimentos, além dos riscos e cuidados a serem considerados com este utensílio doméstico. No entanto, segundo o feedback dos educandos, as aulas teóricas e as atividades relacionadas tiveram menor aceitação pela maioria devido à abstração envolvida, ao passo que as aulas experimentais e atividades relacionadas, bem como as atividades computacionais, foram melhor recebidas por serem mais concretas e aprazíveis aos mesmos. Ademais, os resultados indicaram um desenvolvimento das competências e habilidades essenciais para que os educandos pudessem aplicar os conhecimentos físicos aprendidos em situações reais de leitura e escrita de mundo, como avaliar a propaganda de uma suposta “panela de pressão de pedra” que poderia ser aberta a qualquer momento durante o cozimento dos alimentos sem que houvesse riscos de explosão, dentre outras coisas. A pesquisa, por ser a primeira a utilizar a panela de pressão como elemento central para abordar diversos conceitos e fenômenos físicos relevantes para o dia a dia, contribui de maneira ímpar para a literatura acadêmica de pesquisa em Ensino de Física.

Palavras-chave: Alfabetização técnica. Ensino de física. Equipamentos geradores. Física da panela de pressão. Física do cozimento dos alimentos. Física na cozinha. Três momentos pedagógicos.

FROM THE KITCHEN TO THE CLASSROOM: Possibilities for Physics Education in Light of Technical Literacy Using the Pressure Cooker as a Generating Equipment.

ABSTRACT

This dissertation presents a proposal for Physics Education based on the culinary cultural heritage of the city of Caravelas-BA, through a dialogical-problematizing approach. The objective is to implement and evaluate a Didactic Sequence of teaching and learning involving the theme "Physics in the Kitchen" (Migliavacca; Witte, 2014), with emphasis on discussions about physical phenomena (thermal and mechanical) associated with the use of the pressure cooker during food cooking. The research methodology is characterized as qualitative and exploratory, focusing on practical experimental approaches, and takes into account the "Epistemological Obstacles" and "Epistemological Breaks" of Bachelard's (1991; 1996). Five fundamental parts of the research are: 1. Literature review of works associated with the use of the pressure cooker in Physics Education; 2. Adaptation of a conventional pressure cooker to measure temperature and pressure inside it (Nunes, 2017), this being the core of the research problematization; 3. Application of a Didactic Sequence consisting of theoretical, experimental, and computational classes and activities to a 2nd-year high school class in a public state school; 4. Obtaining pedagogical feedback from the students; 5. Evaluation of the effectiveness of the Didactic Sequence and its contributions to Physics Education. The theoretical framework includes the assumptions of Physics Education in light of "Technical Literacy" (Bazin, 1977a) and "Generating Equipment" (Bastos, 1990) in conjunction with the methodological dynamics of the "Three Pedagogical Moments" proposed by Delizoicov and Angotti (1990), which are based on Paulo Freire's pedagogical conceptions by promoting an education that values the students' freedom and worldviews, positioning them at the center of the teaching and learning process and making them active subjects in the construction of scientific knowledge. The data obtained were subjected to qualitative analysis, which revealed results indicating the success of the implemented Didactic Sequence, as many students showed satisfactory progress throughout the educational process. The diversified activities were a significant point for the effectiveness of the Didactic Sequence as they allowed better student engagement in this process, motivating them to comprehensively, critically, and reflectively understand the physical phenomena associated with the use of the pressure cooker during food preparation, as well as the risks and precautions to be considered with this household utensil. However, according to student feedback, the theoretical classes and related activities were less well-received by the majority due to the involved abstraction, whereas the experimental classes and related activities, as well as computational activities, were better received for being more concrete and enjoyable. Additionally, the results indicated the development of essential skills and competencies for students to apply the learned physical knowledge in real-world reading and writing situations, such as evaluating the advertisement of a supposed "stone pressure cooker" that could be opened at any time during cooking without the risk of explosion, among other things. This research, being the first to use the pressure cooker as a central element to address various relevant physical concepts and phenomena for everyday life, contributes uniquely to the academic literature on Physics Education research.

Keywords: Generating equipment. Physics in the kitchen. Physics of food cooking. Physics of the pressure cooker. Physics teaching. Technical literacy. Three pedagogical moments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Trajeto semanal de ida, feito de ônibus entre Caravelas e Vitória da Conquista, passando por Teixeira de Freitas.....	30
Figura 2 – Trajeto semanal de volta, feito de ônibus entre Vitória da Conquista e Caravelas, passando por Itabuna e Teixeira de Freitas.....	31
Figura 3 – Imagens dos mestre sala e porta bandeira Coroa e Imperial e Irmãos Portela 2014 e imagens antigas do arquivo da Fundação Benedito Ralile retratando desfile de blocos e carro alegórico da década de 60.....	36
Figura 4 – Localização de Caravelas na Bahia e no Brasil.....	37
Figura 5 – Localização geográfica do arquipélago dos Abrolhos em relação à cidade de Caravelas, Bahia.....	38
Figura 6 – Vista área parcial da cidade de Caravelas, Bahia. Ao fundo pode-se notar o porto pesqueiro.....	38
Figura 7 – Vista área parcial da cidade de Caravelas, BA. Na imagem pode-se ver a Co-Catedral de Santo Antônio, localizada na praça de Santo Antônio.....	39
Figura 8 – Vista área parcial da cidade de Caravelas, Bahia. Na imagem pode-se notar o píer.....	39
Figura 9 – Vista aérea do píer da cidade de Caravelas, Bahia.....	40
Figura 10 – Igreja Nossa Senhora de Lourdes, no distrito de Ponta de Areia, a 04 km da cidade de Caravelas. À direita da igreja pode-se notar uma árvore centenária da espécie gameleira, partida ao meio em 2022, durante um temporal.....	40
Figura 11 – Vista aérea geral do Arquipélago dos Abrolhos, com todas suas cinco ilhas.....	41
Figura 12 – Vista aérea individual das cinco ilhas que compõem o Arquipélago dos Abrolhos.....	41
Figura 13 – Baleias-Jubarte em Abrolhos.....	42
Figura 14 – Feira gastronômica de mariscos de Caravelas.....	44
Figura 15 – Modelo de panela de pressão mais comum.....	48
Figura 16 – Fluxograma do processo de seleção dos trabalhos acadêmicos.....	54
Figura 17 – Diagramação esquemática de uma sequência metodológica lógica estruturada nos 3MP.....	110
Figura 18 – Estátua erguida em homenagem a Denis Papin.....	111
Figura 19 – Digestor ou marmita de Papin.....	112

Figura 20 – Ilustração da panela de pressão do século XIX, criada por George Gottlob von Gutbrod (à esquerda). Panela de pressão real fabricada por Georg Gottlob von Gutbrod, em Stuttgart, por volta de 1864 (à direita).....	112
Figura 21 – Modelo “Olla Exprés” desenvolvido por José Álix Martínez em 1917.....	113
Figura 22 – Modelo doméstico flex-seal speed cooker de 1938, desenvolvido por Alfred Vischler.....	113
Figura 23 – Linha do tempo da evolução da panela de pressão.....	115
Figura 24 – Mapa conceitual sobre a física da panela de pressão durante o cozimento dos alimentos.....	117
Figura 25 – Representação esquemática de um termômetro de mercúrio.....	124
Figura 26 – Gráfico da temperatura (em qualquer escala) em função da altura da coluna de dentro do termômetro.....	125
Figura 27 – Representação esquemática das escalas termométricas Fahrenheit, Celsius e Kelvin.....	129
Figura 28 – Sistema termodinâmico (A) e subsistemas (B, C, D).....	131
Figura 29 – Representação esquemática da panela de pressão como um sistema termodinâmico.....	133
Figura 30 – Mapa conceitual básico da Termodinâmica.....	136
Figura 31 – Linha do tempo sobre o desenvolvimento da Termodinâmica e a evolução epistemológica do conceito de calor ao longo do tempo.....	138
Figura 32 – Calor sensível isobárico da água como função da temperatura à pressão de 1,00 atm. A 15 °C, o calor específico da água vale $4,1858 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$	142
Figura 33 – Regra da mão direita para o torque.....	153
Figura 34 – Momento angular ou momento da quantidade de movimento de um ponto material (à esquerda). Momento angular de um ponto P que realiza movimento circular uniforme (à direita).....	155
Figura 35 – Movimento giratório de uma bailarina de gelo.....	157
Figura 36 – Gráfico da equação de Clausius-Clapeyron relacionando a temperatura de ebulição da água com a pressão externa a água.....	166
Figura 37 – Influência da pressão sobre a temperatura de ebulição da água.....	169
Figura 38 – Diagrama de fases $p \times T$ de uma substância hipotética.....	173
Figura 39 – Diagrama de fase da água pura (H_2O). A linha pontilhada horizontal indica a pressão de 1,00 atm e a linha pontilhada vertical indica a temperatura de 20 °C. O ponto triplo está representado por um círculo cheio e o ponto crítico por um círculo vazio.....	181

Figura 40 – Transferência de energia na forma de trabalho termodinâmico da válvula de controle de pressão sobre o meio externo (ar).....	186
Figura 41 – Desenho esquemático das trocas de energia entre o sistema termodinâmico e o ambiente.....	188
Figura 42 – Desenho esquemático para ilustrar o Princípio das Alavancas na tampa da panela de pressão, durante seu fechamento.....	189
Figura 43 – Desenho esquemático para ilustrar o momento de explosão da panela de pressão.....	191
Figura 44 – Desenho esquemático do movimento rotacional da válvula reguladora de pressão.....	197
Figura 45 – Desenho esquemático para cálculo do momento de inércia da válvula reguladora de pressão.....	201
Figura 46 – Válvula obstruindo a saída do vapor (à esquerda). Válvula aberta, permitindo a saída do vapor (à direita).....	202
Figura 47 – Panela de pressão comum moderna em alumínio e indicação de suas partes.....	204
Figura 48 – Mapa conceitual panorâmico da metodologia da pesquisa.....	213
Figura 49 – Fotos de alguns pontos da sede do CPC.....	214
Figura 50 – Elementos para confecção da maquete experimental (fotos superiores). Maquete experimental concluída (foto inferior). Obs.: Faltou nas fotos as arruelas que foram no termômetro de rosca.....	220
Figura 51 – Elementos da bancada experimental completa para a realização das práticas experimentais.....	221
Figura 52 – Educandos realizando a atividade de leitura e discussão dos textos em grupos....	224
Figura 53 – Momento em que os educandos assistiam ao vídeo sobre a relação entre altitude, pressão e temperatura de ebulição da água.....	225
Figura 54 – Momento em que os educandos assistiam ao vídeo sobre a Física da panela de pressão.....	226
Figura 55 – Momento em que os educandos assistiam ao vídeo sobre a simulação real da explosão de uma panela de pressão.....	227
Figura 56 – Momento em que os educandos assistiam ao vídeo sobre a reportagem com acidentes reais envolvendo o uso da panela de pressão durante o cozimento dos alimentos.....	228
Figura 57 – Momento da aula expositiva dialogada com os educandos acerca dos fenômenos físicos associados ao cozimento dos alimentos na panela de pressão, bem como com a eventual explosão da mesma.....	229

Figura 58 – Explicação dos princípios físicos que regem o fenômeno da explosão da panela de pressão.....	229
Figura 59 – Momento da explicação (foto superior). Quadro ao final da explicação (foto inferior).....	233
Figura 60 – Educandos respondendo à atividade discursiva sobre acidentes com a panela de pressão.....	235
Figura 61 – Mostra da panela de pressão adaptada e discussão sobre suas partes e objetivo da aula do dia.....	235
Figura 62 – Equipe Grauçá fazendo medições da massa da válvula reguladora (foto superior e inferior) e do diâmetro interno do orifício do pino central de saída dos vapores da tampa da panela de pressão (fotos centrais).....	237
Figura 63 – Roteiro da atividade prática proposta.....	238
Figura 64 – Momento da explicação expositiva da estimativa teórica da pressão e temperatura da água no interior da panela de pressão (foto superior). Quadro branco com a resolução feita coletivamente com os grupos (foto inferior).....	239
Figura 65 – Equipes Jubarte (superior à esquerda), Grauçá (superior à direita), Iemanjá (inferior à esquerda) e Quitongo (inferior à direita) manipulando o experimento virtual.....	240
Figura 66 – Equipes Abrolhos (superior à esquerda), Carnaval (superior à direita), Atobá (inferior à esquerda) e Gameleira (inferior à direita, em verde) manipulando o experimento virtual.....	240
Figura 67 – Simulação computacional sobre o funcionamento da panela de pressão e sua eventual explosão.....	241
Figura 68 – Disposição geral da turma no Laboratório de Ciências durante o início da aula experimental.....	242
Figura 69 – Bancada experimental montada momentos antes de iniciar as atividades.....	243
Figura 70 – Aferição da temperatura ambiente da água.....	243
Figura 71 – Aferição da temperatura de ebulição da água à pressão atmosférica local.....	244
Figura 72 – Aferição da temperatura de ebulição da água submetida a uma pressão interna superior à pressão atmosférica local.....	246
Figura 73 – Discussão acerca do movimento rotacional da válvula reguladora de pressão.....	247
Figura 74 – Aula teórica expositiva de como obter a relação termométrica entre as escalas do termômetro capilar de álcool e do termômetro metálico de rosca.....	248
Figura 75 – Equipe Grauçá executando a atividade de estimativa da temperatura de ebulição da água dentro da panela de pressão.....	249

Figura 76 – Término da aula expositiva teórica sobre relação termométrica com a panela de pressão (foto superior) e panela de pressão (foto inferior).....	249
Figura 77 – Momentos da segunda parte da aula expositiva sobre a explosão da panela de pressão, do ponto de vista da Conservação do Momento Linear (foto superior) e da aula sobre o movimento rotacional da válvula reguladora e sua relação com o torque gerado sobre ela devido às saídas dos vapores (foto inferior).....	250
Figura 78 – Momento em que os educandos assistiam ao vídeo da experiência com a panela de pressão adaptada de Nunes (2017).....	250
Figura 79 – Momentos de fervuras da água a pressão ambiente (imagem superior) e a pressão superior à pressão ambiente (imagem inferior).....	252
Figura 80 – Momentos em que os educandos assistiam ao vídeo da propaganda panela de “pressão” de pedra.....	253
Figura 81 – Momentos em que os educandos realizavam os cálculos estimativos da tampa da panela de “pressão” de pedra.....	254
Figura 82 – Aula expositiva sobre a estimativa da massa da tampa da panela de “pressão” de pedra (imagem superior) e momento em que se propôs a atividade de criação da arte gráfica (imagem inferior).....	255
Figura 83 – Momento em que os educandos do grupo Carnaval finalizavam a atividade de estimativa da massa da tampa da panela de “pressão” de pedra.....	256
Figura 84 – Momento em que os educandos de quatro grupos distintos finalizavam a atividade do Apêndice N.....	256
Figura 85 – Momento em que os educandos realizavam a avaliação diagnóstica final contendo questões voltadas para vestibulares, ENEM e OBF.....	257
Figura 86 – Momento em que os educandos realizavam coletivamente na biblioteca da escola a identificação e catalogação de palavras-chave para montar o mapa conceitual coletivo.....	258
Figura 87 – Momento de criação conjunta do mapa conceitual coletivo com a turma. Foi utilizado o software Cmap Tools online gratuito. Na imagem da figura, parte do mapa em fase inicial de construção.....	258
Figura 88 – Síntese dos educandos da grupo 3 (equipe Jubarte) acerca dos vídeos sobre a influência que a pressão tem no tempo de cozimento dos alimentos e dos vídeos sobre a segurança com a panela de pressão.....	263
Figura 89 – Resposta do grupo 3 (equipe Jubarte).....	268
Figura 90 – Relação termométrica entre as escalas dos termômetros capilar de álcool e de rosca em ferro.....	269

Figura 91 – Resposta do grupo 3 (equipe Jubarte).....	271
Figura 92 – Resposta do grupo 4 (equipe Gameleira).....	279
Figura 93 – Arte gráfica sátira em formato de tirinha feita pela equipe Carnaval.....	281
Figura 94 – Arte gráfica sátira em formato de meme feita pela equipe Iemanjá.....	281
Figura 95 – Resposta do grupo 5 (equipe Abrolhos).....	283
Figura 96 – Resposta do grupo 1 (equipe Grauçá).....	287
Figura 97 – Resposta do grupo 5 (equipe Abrolhos).....	290
Figura 98 – Desenho esquemático feito pelo grupo 3 (equipe Jubarte).....	294
Figura 99 – Desenho esquemático feito pelo grupo 2 (equipe Quitongo).....	294
Figura 100 – Resposta do grupo 7 (equipe Carnaval).....	296
Figura 101 – Resposta de um dos educandos do Grupo 8 (Equipe Atobá) referente à questão número 2 (digitada erroneamente como 3) do roteiro de atividades.....	298
Figura 102 – Respostas do grupo Jubarte referente às questões 2 e 3.....	300
Figura 103 – Mapa conceitual final construído coletivamente com a turma.....	304
Figura 104 – Esboço de um mapa conceitual feito à mão por um dos educandos momentos antes do início da construção do mapa conceitual coletivo.....	305
Figura 105 – Representação genérica de um diagrama de fases.....	416

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Acidentes domésticos registrados no DF entre 2013 e 2017.....	34
Gráfico 2 – Nível de satisfação dos educandos com relação à SD.....	306
Gráfico 3 – Abordagens didático-pedagógicas mais apreciadas pelos educandos.....	307
Gráfico 4 – Nível de satisfação dos educandos com relação aos seus conhecimentos prévios e construídos, bem como sobre as contribuições da SD para o desenvolvimento humano dos mesmos.....	307

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo percentual entre os trabalhos similares com a proposta da presente pesquisa.....	61
Tabela 2 – Pontos de ebulição da água para diferentes altitudes a partir do nível do mar.....	164
Tabela 3 – Relação de materiais e serviço para a adaptação da panela de pressão e utilização na SD.....	218
Tabela 4 – Medias de massa da válvula reguladora de pressão e diâmetro interno do orifício de saída dos vapores do pino da tampa da panela de pressão.....	264
Tabela 5 – Valores de estimativa da pressão interna dentro da panela de pressão adaptada....	266
Tabela 6 – Valores de estimativa da temperatura de ebulição da água dentro da panela de pressão adaptada, a partir da resolução da equação de Clausius-Clapeyron.....	266
Tabela 7 – Valores de estimativa da temperatura de ebulição da água dentro da panela de pressão adaptada, a partir da relação termométrica entre as medições do termômetro de rosca com as medições feitas utilizando o termômetro capilar de álcool.....	270
Tabela 8 – Valores de estimativa da massa da tampa da panela de pressão de pedra para que a mesma chegasse à mesma pressão e temperatura de uma panela de pressão convencional.....	279
Tabela 9 – Quantidade acertos por questão da atividade com questões voltadas para vestibular, OBF e ENEM.....	301
Tabela 10 – Percentuais de acertos dos educandos na atividade.....	302

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Elementos da avaliação escolar e suas descrições.....	91
Quadro 2 – Procedimentos e instrumentos de avaliação escolar.....	96
Quadro 3 – Descrição qualitativa dos tipos de sistemas físicos.....	132
Quadro 4 – Orientações de segurança quanto ao manuseio da panela de pressão.....	207
Quadro 5 – Conceitos ou aspectos-chave da epistemologia de Gaston Bachelard.....	209
Quadro 6 – Instrumentos de obtenção de dados da pesquisa qualitativa.....	216
Quadro 7 – Transcrições de respostas dos educandos da avaliação diagnóstica coletiva.....	260
Quadro 8 – Transcrição do diálogo do professor com os educandos (registros feitos por meio de gravações de áudio com o celular durante a roda de conversa).....	274
Quadro 9 – Transcrição das respostas escritas dos grupos participantes.....	284
Quadro 10 – Transcrição das respostas escritas dos grupos participantes.....	286
Quadro 11 – Transcrição das respostas escritas dos grupos participantes.....	289
Quadro 12 – Respostas dos grupos participantes.....	291
Quadro 13 – Respostas de alguns educandos em relação às experiências feitas com a panela de pressão no Laboratório de Ciências do CPC e no vídeo por Nunes (2017) na USP de São Carlos.....	295
Quadro 14 – Transcrições das respostas de alguns participantes.....	297
Quadro 15 – Transcrições das respostas de alguns grupos participantes.....	299
Quadro 16 – Trechos das respostas de alguns educandos a respeito de suas percepções sobre a SD, por meio da avaliação de feedback pedagógico.....	308

LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior
EM	Ensino Médio
GRF	Grupo de Reelaboração do Ensino de Física
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
EI	Educação Infantil
PISA	Programme for International Student Assessment
APBj	Aprendizagem Baseada em Projetos
CFD	Curso de Formação de Docentes
SBF	Sociedade Brasileira de Física
UESB	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
SD	Sequência Didática
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
Caltech	Califórnia Institute of Technology
SGO	Sistema de Gestão de Ocorrências
EJA	Educação de Jovens e Adultos
CPC	Colégio Polivalente de Caravelas
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
BDTD	Biblioteca Digital de Teses e Dissertações
IBJ	Instituto Baleia Jubarte
PARNA MAR Abrolhos	Parque Nacional Marinho dos Abrolhos
CRFB	Constituição da República Federativa do Brasil
DCRB	Documento Curricular Referencial da Bahia
NEM	Novo Ensino Médio
3MP	Três Momentos Pedagógicos
SciELO	Scientific Electronic Library Online
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
MEC	Ministério da Educação
CNT	Ciências da Natureza e suas Tecnologias
PL	Pedagogia da Libertação
SI	Sistema Internacional de Unidades

TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
CREF	Centro de Referência para o Ensino de Física
GEF	Grupo de Ensino de Física
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
IEDE	Instituto Interdisciplinaridade e Evidências no Debate Educacional
TDIC	Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação
PGD	Problemas Geradores de Discussões
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
DCN	Diretrizes Curriculares Nacionais
PROTESTE	Associação Brasileira de Proteção dos Consumidores
LPF	Licenciatura Plena em Física
DUDH	Declaração Universal dos Direitos Humanos
PI	Problematização Inicial
OC	Organização do Conhecimento
AC	Aplicação do Conhecimento
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
SEC/BA	Secretaria de Educação do Estado da Bahia
ONU	Organização das Nações Unidas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EF	Ensino Fundamental
PIBID	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência
PHC	Pedagogia Histórico-Crítica
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
SAEB	Sistema de Avaliação da Educação Básica
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
UCS	Universidade Cruzeiro do Sul
IFSC/USP	Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo
PhET	Physics Education Technology Project
LCT	Linguagens, Códigos e suas Tecnologias
CPC	Colégio Polivalente de Caravelas
GEAPME	Gratificação de Estímulo ao Aperfeiçoamento Profissional e à Melhoria do Ensino
FGV	Fundação Getúlio Vargas

LISTA DE SÍMBOLOS

\propto	Proporcional a
\approx	Aproximadamente
\equiv	Identicamente igual a
\rightarrow	Tende a
Σ	Somatório
\gg	Muito maior que
\times	Produto vetorial
\cdot	Produto escalar
$>$	Maior que
\ln	Logarítmo natural
exp	Função exponencial
$<$	Menor que

SUMÁRIO

Capítulo 1 - Introdução.....	27
1.1 As Motivações da Pesquisa.....	27
1.2 O Contexto e a Proposta da Pesquisa.....	36
1.3 Justificativa e Relevância Social da Pesquisa.....	45
1.4 Os Limites da Pesquisa.....	46
1.5 A Questão Norteadora da Pesquisa.....	48
1.6 Hipótese.....	48
1.7 Os Objetivos da Pesquisa.....	49
1.7.1 <i>Objetivo Geral</i>	49
1.7.2 <i>Objetivos Específicos</i>	49
1.8 Uma Prévia dos Capítulos Subsequentes.....	50
Capítulo 2 - Estado da Arte.....	52
2.1 Critérios de Busca e Análise dos Trabalhos Acadêmicos.....	52
2.2 Levantamento Bibliográfico Sobre o Ensino de Física/Ciências Associado à Panela de Pressão.....	55
2.3 Análise Comparativa.....	60
Capítulo 3 - Referencial Teórico-Metodológico.....	63
3.1 A Importância de um Ensino de Física Humanizado e Contemporâneo Frente aos Desafios Impostos à Prática Educativa no Brasil no Século XXI.....	63
3.2 Os Princípios Filosóficos da Educação Libertadora de Paulo Freire.....	73
3.3 O Ensino de Física sob a Perspectiva da Educação Dialógico-Problematizadora.....	83
3.4 Reflexões Filosóficas para uma Avaliação da Aprendizagem Humanizada.....	90
3.5 Alfabetização Técnica e o Uso de Equipamentos Geradores no Ensino de Física.....	100
3.6 A Dinâmica Metodológica dos Três Momentos Pedagógicos.....	103
3.7 A História da Panela de Pressão.....	110
3.8 A Física da Panela de Pressão.....	116
3.8.1 <i>Introdução aos Conceitos Básicos</i>	117
3.8.1.1 Energia, Energia Térmica, Energia Interna e Energia Mecânica.....	117
3.8.1.2 Temperatura.....	122
3.8.1.3 Sistema Termodinâmico.....	129
3.8.1.4 Processo Termodinâmico.....	133
3.8.1.5 Calor.....	137

3.8.1.6 Densidade.....	146
3.8.1.7 Tensão Superficial.....	147
3.8.1.8 Força.....	148
3.8.1.9 Momento Linear.....	150
3.8.1.10 Torque.....	152
3.8.1.11 Momento Angular.....	154
3.8.1.12 Pressão, Pressão Atmosférica e Pressão de Vapor.....	158
3.8.2 <i>Influência da Pressão no Tempo de Cozimento dos Alimentos e a Equação de Clausius-Clapeyron</i>	161
3.8.3 <i>As Propagações de Calor Presentes no Cozimento dos Alimentos</i>	178
3.8.4 <i>As Transições de Fases Ocorridas Durante o Cozimento dos Alimentos</i>	180
3.8.5 <i>As Transformações de Energia Ocorridas no Cozimento dos Alimentos</i>	184
3.8.6 <i>Fechamento da Panela de Pressão e o Princípio das Alavancas</i>	188
3.8.7 <i>Princípios Físicos que Regem a Explosão da Panela de Pressão</i>	190
3.8.8 <i>A Dinâmica do Movimento Rotacional da Válvula de Controle de Pressão</i>	195
3.8.9 <i>Estimativa da Pressão no Interior da Panela de Pressão</i>	201
3.9 O Uso da Panela de Pressão: Benefícios, Riscos e Cuidados.....	204
Capítulo 4 - Metodologia.....	209
4.1 A Natureza do Conhecimento Envolvido na Proposta da Pesquisa: Perspectivas Filosófica e Epistemológica.....	209
4.2 Caracterização da Pesquisa.....	211
4.3 Locus e Sujeitos da Pesquisa.....	213
4.4 Instrumentos de Obtenção de Dados.....	216
4.5 Recursos Didáticos Utilizados.....	217
4.6 Adaptação da Panela de Pressão.....	217
4.7 Procedimentos Metodológicos: Aplicação da Sequência Didática.....	221
4.7.1 <i>Primeiro Momento Pedagógico: Problematização Inicial (Estudo Realidade)</i> ..	221
4.7.2 <i>Segundo Momento Pedagógico: Organização do Conhecimento (Aprofundamento Teórico)</i>	223
4.7.3 <i>Terceiro Momento Pedagógico: Aplicação do Conhecimento (Intervenção de Mundo)</i>	252
Capítulo 5 - Resultados e Discussões.....	260
5.1 Avaliações Diagnósticas.....	260

5.2 Atividade Coletiva de Síntese dos Vídeos Associados à Influência da Pressão no Tempo de Cozimento dos Alimentos e aos Acidentes Domésticos com a Panela de Pressão.....	262
5.3 Atividade de Estimativa da Temperatura de Ebulição da Água na Panela de Pressão Real por Meio da Equação de Clausius-Clapeyron.....	264
5.4 Atividade de Estimativa da Temperatura de Ebulição da Água na Panela de Pressão Real por Meio da Relação Termométrica Entre os Termômetros Capilar de Álcool e de Rosca.....	269
5.5 Atividade de Análise da Vídeo-Propaganda Sobre a “Panela de Pressão de Pedra” e Produção das Artes Gráficas Sátiras.....	272
5.6 Atividade de Leitura da Tirinha Sobre a Explosão da Panela de Pressão.....	282
5.7 Atividade de Leitura da Imagem Sobre a Física Envolvida no Cozimento dos Alimentos na Panela de Pressão.....	285
5.8 Atividade de Leitura da Imagem Sobre a Água Fervendo em Altitudes Diferentes.....	288
5.9 Atividade Geral em Grupo.....	291
5.10 Atividade Sobre o Vídeo da Experiência da Panela de Pressão Adaptada do IFUSP/SC..	295
5.11 Atividade Sobre a Simulação Computacional da Panela de Pressão no PhET.....	297
5.12 Atividade Sobre os Vídeos de Acidentes Domésticos com a Panela de Pressão.....	299
5.13 Avaliação Teórica Individual.....	301
5.14 Atividade Coletiva de Construção do Mapa Conceitual Sobre a Física da Panela de Pressão.....	303
5.15 Feedbacks Pedagógicos dos Educandos.....	306
Capítulo 6 - Conclusão.....	312
Referências.....	315
Apêndice A – Termo de Autorização Escolar.....	332
Apêndice B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	333
Apêndice C – Código em Linguagem de Programação Python de Implementação da Equação de Clausius-Clapeyron para Determinação das Pressões Máximas de Vapor da Água a Diferentes Temperaturas.....	335
Apêndice D – Avaliação Diagnóstica Individual.....	336
Apêndice E – Avaliação Diagnóstica Coletiva.....	337
Apêndice F – Atividade Sobre os Textos de Energia e História da Panela de Pressão.....	338
Apêndice G – Atividade Sobre os Vídeos de Acidentes Domésticos com a Panela de Pressão.....	339
Apêndice H – Atividade de Estimativa da Temperatura de Ebulição da Água na Panela de Pressão Real por Meio da Equação de Clausius-Clapeyron.....	340

Apêndice I – Atividade de Estimativa da Temperatura de Ebulição da Água na Panela de Pressão Real por Meio da Relação Termométrica Entre os Termômetros Capilar de Álcool e de Rosca.....	341
Apêndice J – Atividade de Análise da Vídeo-Propaganda Sobre a “Panela de Pressão de Pedra” e Produção das Artes Gráficas Sátiras.....	342
Apêndice K – Atividade de Leitura da Tirinha Sobre a Explosão da Panela de Pressão.....	343
Apêndice L – Atividade de Leitura da Imagem Sobre a Física Envolvida no Cozimento dos Alimentos na Panela de Pressão.....	344
Apêndice M – Atividade de Leitura da Imagem Sobre a Água Fervendo em Altitudes Diferentes.....	345
Apêndice N – Atividade Geral em Grupo.....	346
Apêndice O – Atividade Sobre o Vídeo da Experiência da Panela de Pressão Adaptada do IFUSP/SC.....	347
Apêndice P – Atividade Sobre a Simulação Computacional da Panela de Pressão no PhET..	348
Apêndice Q – Avaliação Teórica Individual.....	349
Apêndice R – Roteiro para Feedback Pedagógico dos Educandos.....	350
Apêndice S – Produto Educacional.....	351
Anexo A – Texto “A Panela de Pressão”.....	413
Anexo B – Texto 1 “A Energia como Pilar Central da Civilização”.....	414
Anexo C – Texto 2 “Panela de Pressão: Conheça a História e a Ciência por Trás do seu Funcionamento”.....	415
Anexo D – Representação Genérica de um Diagrama de Fases.....	416

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 AS MOTIVAÇÕES DA PESQUISA

Minha jornada como professor de Física começou a tomar forma enquanto minha formação docente estava sendo forjada no curso de graduação em *Licenciatura Plena em Física (LPF)* na *Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB)*, em Vitória da Conquista-BA, no qual, em agosto de 2018, concluí essa etapa importante da minha formação profissional. No entanto, minha trajetória como educador na prática já havia começado a se desenhar ainda durante a formação, quando consegui dar aulas de Física como professor substituto para algumas turmas de uma escola particular, na mesma cidade.

Durante o tempo que estive na graduação fui agraciado com a valiosa oportunidade de participar do *Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID)*, no qual atuei na linha de pesquisa Ensino Profissionalizante coordenada pelo professor Dr. Jornandes Jesus Correia, da UESB. Neste período, pude aprender um pouco sobre a nobre missão da docência, sobre sua relevância didática e social na condução de um Ensino de Física dinâmico, atrativo, criativo e, sobretudo, adaptativo às reais necessidades de aprendizagem dos educandos, de modo a conceber durante o planejamento das atividades escolares, uma sistematização para tornar o aprendizado mais fluido e eficiente.

Ao longo do ano de 2017 fiquei envolvido em um ambiente prático de ensino e aprendizagem em Física, onde pude planejar e ministrar aulas voltadas para as práticas experimentais de Física para os educandos do Centro Estadual de Educação Profissional em Saúde Adélia Teixeira, em Vitória da Conquista, Bahia. Essa experiência foi enriquecedora em diversas dimensões humanas, pois permitiu que eu pudesse aplicar parte do conhecimento que construí ao longo de toda minha formação acadêmica na UESB.

No começo do ano de 2018 fui aprovado no concurso público para professor efetivo de Física da Bahia que ocorreu no final de 2017. Esta conquista motivou-me a continuar buscando maneiras de me preparar para a desafiadora missão de ensinar Física a uma juventude mais conectada com a tecnologia e cada vez mais distraída das atividades pedagógicas puramente teóricas, que exigem um alto grau de abstração.

No ano de 2019 iniciei como professor de Física no *Colégio Polivalente de Caravelas (CPC)*, com uma carga horária semanal de 40 horas/aula, na cidade-sede do município de Caravelas, localizada na região extremo-sul da Bahia (Figura 4), no qual me encontro até a presente data. Vivenciei a realidade do chão da escola pública e, sobretudo, das salas de aula,

além das demandas impostas pelos órgãos governamentais educacionais, como o *Ministério da Educação e Cultura (MEC)* e a *Secretaria de Educação do Estado da Bahia (SEC/BA)*. Isto me fez refletir sobre meu posicionamento docente e buscar formas de contornar tamanhas dificuldades em ensinar Física no Brasil nas escolas públicas.

Em 2021, fui aprovado no *Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)* na UESB (Polo 62), cujas atividades acadêmicas tiveram início no primeiro semestre de 2022. A partir daí, minha trajetória profissional foi alavancada fortemente, sobretudo por aumentar meu gosto pela docência e decisão em ingressar em um doutorado em Ensino de Ciências ou Ensino de Física tão logo.

Minha dedicação ao prosseguir os estudos no MNPEF é realmente notável e demonstra um comprometimento admirável com minha formação humana, acadêmica e profissional, quando em 2021, ao passar na seleção do MNPEF e iniciar o curso em março de 2022, na condição de bolsista da *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)*, iniciei uma jornada semanal desafiadora de ida e volta que foi uma verdadeira *Ilíada* e *Odisseia*, parafraseando o poeta épico da Grécia Antiga, Homero.

Todas as quintas-feiras eu empreendia uma verdadeira epopeia de aproximadamente 569 km de percurso (trecho **AB** da Figura 1), percorrendo o caminho entre as cidades de Caravelas e Vitória da Conquista cuja boa parte dele (BA-680 e BA-670) era extremamente esburacado. Esta jornada não era apenas longa, mas também muito desgastante e cansativa, demandando uma dedicação extraordinária. As viagens semanais se iniciavam às 15 h de quinta-feira e só finalizavam às 5 h 30 min do dia seguinte (sexta-feira), ao chegar no terminal rodoviário de Vitória da Conquista. E antes de viajar, ainda tinha que cumprir parte das “atividades complementares” (AC) no CPC. Isso é uma demonstração de meu foco, determinação e paixão pelo estudo.

Entre segunda e quarta-feira, eu ministrava aulas dos componentes curriculares de Física (maior carga horária), Inovação Científica e Tecnológica e Práticas Integradoras, totalizando as 26 horas-aula semanal. Portanto, eram três planejamentos de aulas distintos que eu fazia semanalmente, além de elaborar atividades para serem aplicadas durante algum momento ao longo das aulas. As atividades profissionais e acadêmicas exigiam de mim um “malabarismo” para conseguir conciliar as atividades das três instituições: Polivalente, UESB e *Universidade Cruzeiro do Sul (UCS)*¹.

¹ Instituição no qual cursei, paralelamente ao mestrado, uma Pós-graduação Lato Sensu de Especialização em Ensino de Astronomia, iniciada em fevereiro de 2022 de forma online, com atividades e provas teóricas em uma quantidade razoável, mas que exigiu estudo aprofundado dos conteúdos e materiais disponibilizados.

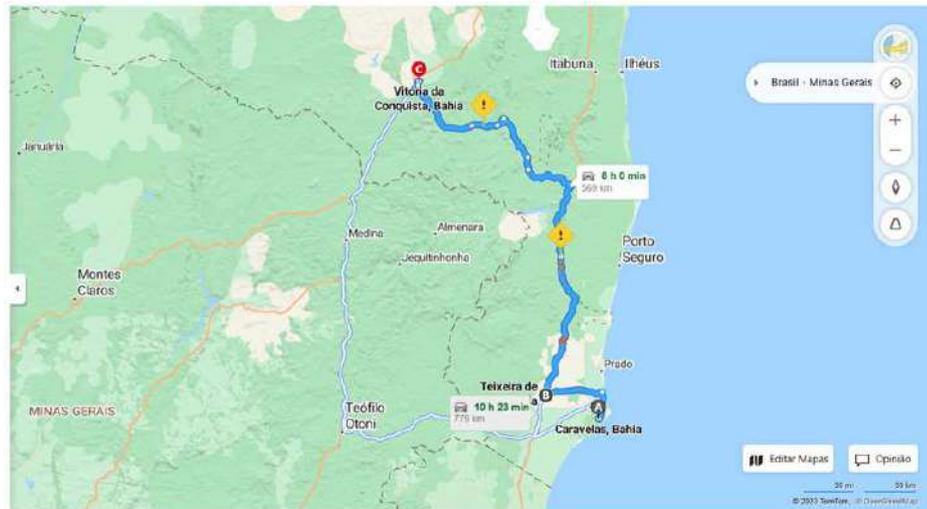
Em 2023, iniciei um curso de formação de 360 horas proposto pela SEC/BA, e administrado pela *Fundação Getúlio Vargas (FGV)*, para professores efetivos da rede pública estadual de ensino básico, de modo a melhorar a qualidade da formação docente ao focá-la para o alinhamento com a *Base Nacional Comum Curricular (BNCC)* e o *Documento Referencial Curricular da Bahia (DCRB)*, além de servir como possibilidade para a incorporação de 15%, do total de 50%, da *Gratificação de Estímulo ao Aperfeiçoamento Profissional e à Melhoria do Ensino (GEAPME)* sobre o salário base no plano de carreira do magistério. Esse curso, intitulado “Formação Ensino Médio: Tecendo Redes de Conhecimento”, foi composto por 05 (cinco) ciclos no total, com cada ciclo apresentando entre 04 (quatro) e 06 (seis) módulos no qual cada um deles apresenta um quantitativo extremamente grande de atividades diversificadas que iam desde análise de vídeos, áudios, artigos e livros, até produções textuais como diários de bordos, resumos, mapas mentais, padlets, comentários, planos de aula, sequências didáticas de ensino e aprendizagem etc., o que tornou a formação bastante desgastante por tamanha demanda. Porém, eu tinha que dar conta, já que eu escolhi participar de todos esses cursos paralelamente à prática docente.

Esses dois cursos a mais dentro de meu cronograma aumentou significativamente a dificuldade enfrentada, uma vez que o tempo além de aliado ia se tornando um inimigo à medida que ele avançava. Na medida do possível, dentre uma brecha e outra de horário vago, eu fiz atividades de uma e de outra. E fui avançando... aos poucos, sendo resiliente com a situação exigente que me impus, que é a de estudar e se qualificar enquanto trabalhava no magistério. Inclusive, foi graças às disciplinas *Elementos de Estatística em Contextos Educacionais e Variabilidade e Testes de Hipóteses Aplicados à Educação* do curso de Pós-graduação Lato Sensu de Especialização em Ensino de Astronomia que pude aprender fazer uma análise quantitativa (análise estatística) de dados obtidos numa pesquisa, de forma mais técnica e eficiente, uma vez que durante minha graduação em Licenciatura em Física não tive a matéria de Estatística no rol de disciplinas obrigatórias do curso.

Além dos cursos supracitados, eu também cursei concomitantemente ao primeiro semestre do mestrado uma Pós-graduação Lato Sensu de Especialização em Ensino de Ciências, pela *Faculdade Venda Nova do Imigrante (FAVENI)*, de forma também online.

Anterior ao meu ingresso no mestrado, no final de 2019 iniciei minha primeira Pós-graduação, também Lato Sensu, que foi em Especialização em Ensino de Física. Esse curso também foi feito de forma online pela instituição FAVENI.

Figura 1 – Trajeto semanal de ida, feito de ônibus entre Caravelas e Vitória da Conquista, passando por Teixeira de Freitas.



Fonte: Gerado pelo Autor (2024) pelo site OpenStreetMap.

No entanto, essa viagem sempre era feita com uma conexão. Após sair de Caravelas às 15 h de toda quinta-feira, o destino intermediário era a cidade de Teixeira de Freitas, Ba, situada aproximadamente a 86 km de Caravelas. Apesar do tempo de condução no mapa ser de aproximadamente 1 h 26 min (Figura 1), o ônibus, pelo fato de parar demais ao longo da estrada, chegava sempre às 17 h 30 min. Devido a isto, eu ficava esperando na rua (praça), pois não existia rodoviária em Teixeira de Freitas nessa época. O ônibus para Vitória da Conquista saía de Teixeira de Freitas às 20 h.

A situação piora mais se considerar o fato de que só existia um único horário por dia (salvo aos sábados, que não existia nenhum horário) entre Teixeira de Freitas e Vitória da Conquista e vice-versa. Todos esses fatores tornaram minha jornada semanal muito mais desafiadora e árdua. E isso me colocou o tempo todo à prova, exigindo de mim paciência, foco, perseverança e resiliência como nunca antes tive.

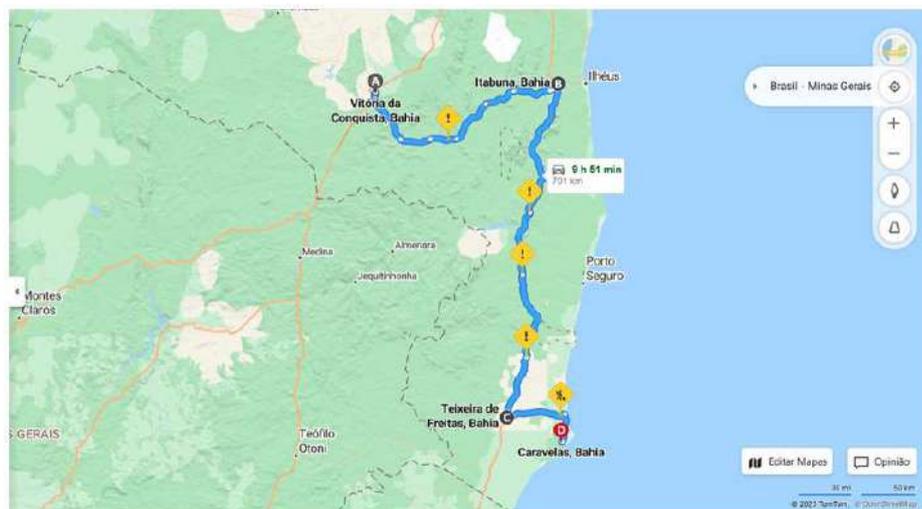
A partir de então, iniciava-se a segunda etapa da Ilíada (trecho **BC** da Figura 1), entre Teixeira de Freitas e Vitória da Conquista. Esta parte era a mais longa e cansativa. Além disto, os buracos constantes na pista, entre as rodovias BA-680 e BA-670, tornavam a viagem mais desconfortante. Entre as cidades de Caravelas e Teixeira de Freitas também possuía inúmeros buracos tornando a viagem desconfortável, mesmo de ônibus.

A Figura 1 mostra o trajeto total da viagem (primeira etapa + segunda etapa = trecho **AB** + trecho **BC**). Nesta imagem fica evidente quão distante são as duas cidades e o quão difícil era minha jornada semanal para assistir às aulas presenciais do MNPEF.

O mesmo se aplica às voltas que aconteciam aos domingos às 23 h, justamente por não haver linha de ônibus aos sábados. No entanto, a volta era um pouco pior pois o tempo de espera para pegar o ônibus para Caravelas, assim que chegava em Teixeira de Freitas às 8 h, era ainda maior: cerca de 4 (quatro) horas até pegar o ônibus das 12 h, em pleno centro da cidade, sem rodoviária, muitas vezes à sombra de alguma árvore na praça, onde às vezes eu lia algum livro ou fazia algumas anotações de estudo referentes à pesquisa ou alguma disciplina em curso do MNPEF.

Esse fato implicava que eu deveria chegar em Caravelas às segundas-feiras, às 15 h. E neste mesmo dia, à noite, eu já deveria estar em sala de aula com os alunos do primeiro ano para três aulas seguidas de Física e Inovação Científica e Tecnológica. E tudo apenas durante o ano de 2022, pois, em 2023, durante o III semestre do curso, eu tinha aulas a ministrar no CPC nas segundas-feiras durante toda a parte da tarde. Por isto, não podia sair de lá no domingo. Como não havia linha de ônibus aos sábados, eu tive que aumentar para 3 (três) trajetos a minha volta (e o custo aumentou junto), indo de Vitória da Conquista, aos sábados às 17 h, para Itabuna (1º trajeto), conforme Figura 2.

Figura 2 – Trajeto semanal de volta, feito de ônibus entre Vitória da Conquista e Caravelas, passando por Itabuna e Teixeira de Freitas.



Fonte: Gerado pelo Autor (2024) pelo site OpenStreetMap.

Chegando em Itabuna, às 21 h, esperava durante 1 h até pegar outro ônibus para Teixeira de Freitas (2º trajeto). No dia seguinte, domingo, eu chegava às 6 h 30 min ou 7 h em Teixeira de Freitas. Esperava mais 1 h até pegar o ônibus, às 8 h, para Caravelas (3º trajeto). Este trajeto total de volta aumentava meu percurso de viagem em 132 km (trecho AD da Figura 2).

Foi um processo sofrido, que me rendeu inclusive problemas de bursite e tendinite no ombro direito diagnosticado por médico Ortopedista, mas valeu a pena ser resiliente com a situação toda. Além do mais, houveram situações em que fiquei impossibilitado de ir para as aulas do mestrado por problemas que surgiram durante algumas viagens, como quebra do ônibus em uma das viagens, outra por atraso do ônibus etc.

Toda essa dedicação e esforço se transformaram em resiliência, na qual demonstra meu compromisso em buscar uma qualificação educacional e me aprimorar como professor-educador. É evidente que eu estive disposto a superar obstáculos e sacrifícios pessoais em prol de meus objetivos acadêmicos e profissionais. Minha história até que serve como uma inspiração para todos que valorizam a Educação e a busca pelo conhecimento científico. E aqui faço um adendo às minhas palavras... ***Se não fosse o agraciamento da bolsa de R\$ 1.500,00 ofertada pela agência de fomento CAPES, não iria cursar o mestrado, visto que moro tão longe e o custo mensal girava em torno de R\$ 1.350,00 com os transportes.*** E melhorou mais a partir de março de 2023, quando o Governo Federal permitiu o aumento das bolsas acadêmicas, passando para o valor de R\$ 2.100,00 aos programas de mestrado em geral.

E como pessoa beneficiária de tal programa, deixo aqui o meu relato singelo acerca das bolsas acadêmicas que ***representam uma enorme importância para o progresso educacional, científico e tecnológico do país***, visto que permitem com que potenciais cientistas e pesquisadores dos programas de pós-graduação possam se manter em outras localidades enquanto aprendem, se aperfeiçoam e contribuem para o progresso da Ciência em nossa sociedade. E o mesmo vale para as bolsas atribuídas aos programas associados aos cursos de graduação, como Iniciações Científicas. Bolsa acadêmica é essencial e faz toda a diferença.

Desde que comecei a atuar como professor de Física em Caravelas, tive a oportunidade de conhecer a realidade dos educandos desta localidade, na qual muitos educandos encontram-se limitados por uma situação econômica, logística, social e emocional extremamente vulnerável. Algumas características marcantes deste contexto estão na forte ligação com a culinária, as atividades de pesca, os movimentos artísticos e culturais étnico-raciais atuantes e renovadores, as tradicionais marchinhas carnavalescas de rua, a música, a dança, um centro arquitetônico histórico com algumas construções coloniais e algumas atividades ecológicas e ambientais. Dessa forma, uma dessas características está associada à proposta desta pesquisa, que é a culinária, especialmente de frutos do mar, devido ao evento que ocorre anualmente na cidade, a Feira Gastronômica de Mariscos (Figura 14), entre os meses de janeiro e março.

Caravelas é também ponto de partida para o *Parque Nacional Marinho dos Abrolhos (PARNA MAR Abrolhos)*, arquipélago localizado a cerca de 63 km a sudoeste da costa de

Caravelas (Figura 5), sediando órgãos governamentais de proteção ambiental como o *Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)*, o *Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)* e o *Instituto Baleia Jubarte (IBJ)*.

No que tange à culinária, sabe-se que o processo de preparo de determinados tipos de alimentos é mais rápido quando se utiliza a panela de pressão. É o caso do feijão, do milho, da mandioca e de alguns tipos de carnes mais duras, como o lombo bovino, galinha/galo caipira, o granito (peito bovino) ou o cupim, por exemplo. E isto faz com que a panela de pressão seja um utensílio doméstico quase obrigatório nos lares e estabelecimentos comerciais do ramo culinário em todas as classes sociais.

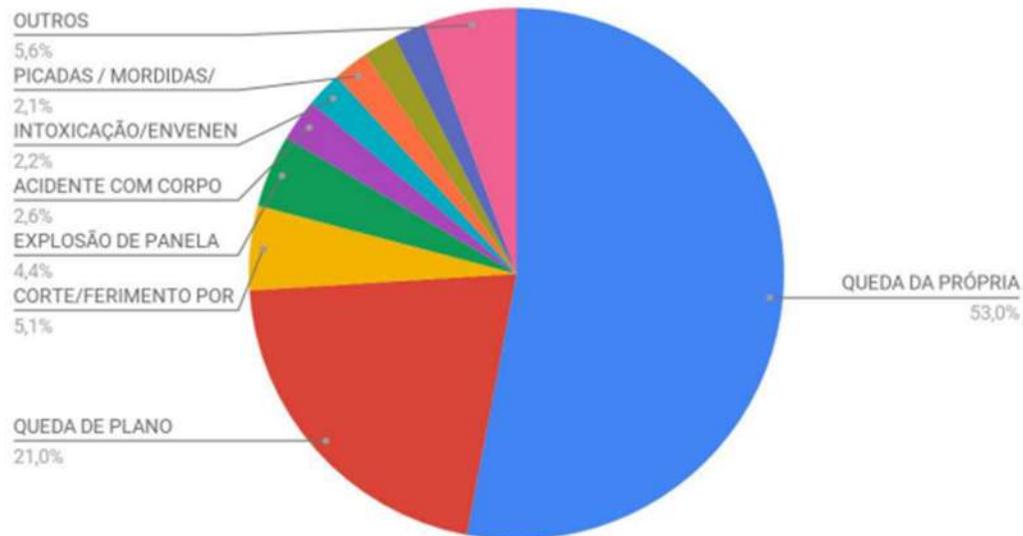
Essa conexão com a Gastronomia despertou-me a curiosidade para explorar como poderia abordar os conceitos e fenômenos físicos e químicos de forma interdisciplinar, prática e significativa na vida dos educandos. Daí surgiu a ideia de desenvolver uma pesquisa de um Ensino de Física, cujo fruto seria uma *Sequência Didática (SD)*, que utilizasse a panela de pressão como um equipamento gerador de discussões amplas sobre conceitos e fenômenos físicos associados ao cozimento dos alimentos.

No entanto, a escolha do tema foi motivada por diversos fatores, além da culinária, que foi o principal. Primeiramente, a panela de pressão é um utensílio doméstico comum em muitos lares, mas seu funcionamento envolve princípios físicos relevantes que podem ser explorados em sala de aula com os educandos. Além disto, a questão da segurança foi primordial, visto que o aumento do número de acidentes domésticos associados à explosão das panelas de pressão durante o cozimento dos alimentos nos últimos 03 (três) anos chamou a atenção para a importância de se compreender os riscos e benefícios de seu uso, de forma científica, crítica e reflexiva.

Entretanto, acidentes domésticos envolvendo o uso da panela de pressão, algo incomum de ocorrer, vêm sendo cada vez mais recorrentes nos últimos anos, deixando várias pessoas feridas gravemente, levando algumas a óbito, a exemplo do que do que aconteceu com uma trabalhadora de 34 (trinta e quatro) anos de idade que teve sua vida ceifada por conta de uma explosão da panela de pressão do estabelecimento comercial onde trabalhava, na cidade de Ceilândia-DF, segundo o site *i7news*.

Segundo Chiarelli (2019), a partir da análise de ocorrências registradas na base de dados do *Sistema de Gestão de Ocorrências (SGO)* entre janeiro de 2013 a julho de 2017, no Distrito Federal (DF), dentre as 16 (dezesesseis) categorias de acidentes domésticos deste período, 4,4% foi devido à explosão da *panela de pressão*, conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Acidentes domésticos registrados no DF entre 2013 e 2017.



Fonte: Chiarelli (2019, p. 12).

As categorias de acidentes registrados no SGO supracitadas, compreendidos entre janeiro de 2013 e julho de 2017, são (Chiarelli, 2019, p. 12):

- Queda da própria altura;
- Queda de plano elevado;
- Corte/ferimento por objeto perfurocortante;
- **Explosão de painela de pressão** / superaquecimento de painela ou eletrônicos;
- Acidente com corpo estranho / engasgamento / sufocamento;
- Intoxicação / envenenamento;
- Picadas / mordidas / acidentes com animais;
- Queimaduras;
- Ferimento por queda de objeto / esmagamento / colisão;
- Choque elétrico;
- Incêndio doméstico;
- Parte do corpo / pessoa presa;
- Afogamento doméstico;
- Vazamento de gás / diversas explosões;
- Ferimento por arma de fogo acidental;
- Acidente doméstico com descrição insuficiente.

Ainda no ano de 2017, segundo levantamento feito pelo *Sistema INMETRO de Monitoramento de Acidentes de Consumo (SINMAC)*, dos 45% dos acidentes/incidentes registrados com os produtos mais relatados, 1,7% foi devido à *panela de pressão* (Brasil, 2023).

Segundo Brasil (2023), um acidente de consumo ocorre quando um produto ou serviço, quando utilizado ou manuseado de acordo com as instruções de uso, causa danos ao consumidor.

Historicamente e estatisticamente, as regiões geográficas sudeste, sul e nordeste do Brasil são maioria nos acidentes de consumo desde 2006, sendo a região sudeste sempre a com maior percentual, com os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais historicamente sendo os que mais recebem relatos de acidentes ou incidentes deste tipo. Já a região nordeste, que sempre ocupou o terceiro lugar nesse “ranking”, tem o estado da Bahia atrás apenas do estado de São Paulo nos últimos anos (Brasil, 2023).

Além de vitimar pessoas, explosões decorrentes dos acidentes com a panela de pressão causam grandes estragos materiais, como por exemplo a destruição total do fogão e, a depender, de parte do teto da cozinha da residência ou estabelecimento comercial em que ocorrem. Portanto, a mídia vem dando cada vez mais destaque a situações como essas devido ao crescimento do número de acidentes dessa natureza ao longo dos últimos anos.

Somente no ano de 2020, segundo Pirapop Notícias (2023) e Record News (2023), foram confirmados e catalogados pela *Associação Brasileira de Proteção dos Consumidores (PROTESTE)* em sua base de dados mais de 1.200 (um mil e duzentos) acidentes domésticos com a panela de pressão no Brasil. Contudo, por apresentar um número ainda pequeno em relação ao total de acidentes domésticos ocorridos anualmente, estes acidentes vêm aumentando de forma significativa com o passar dos anos e se tornando cada vez mais recorrentes nos dias atuais. Portanto, uma educação que fomente a instrução reflexiva e crítica quanto ao manuseio correto e seguro da panela de pressão, além da abordagem científica das fenomenologias que podem ocorrer durante o processo de cocção dos alimentos, faz-se necessário. Afinal, como diz o velho ditado popular que se encaixa perfeitamente a este tipo de situação: “*é melhor prevenir do que remediar!*”. E o conhecimento é essencial para isso.

Destarte, diante do cenário descrito, levar para dentro da sala de aula um tema de relevância social palpável ao entendimento dos educandos e que esteja de fato associado às suas vidas cotidianas, é muito importante no processo de ensino e aprendizagem da Física. Contudo, as aulas devem estar bem estruturadas numa abordagem metodológica que centralize os educandos nesse processo educativo, uma vez que tal ação desperta o interesse dos mesmos durante as discussões feitas nas aulas de Física, resultando em um maior engajamento deles

nessas tão temidas aulas e proporcionando um aprendizado mais dinâmico, democrático e eficiente, além de trabalhar as competências e habilidades essenciais que possibilitem-lhes ter uma melhor capacidade de leitura e escrita de mundo (Brasil, 2018a). Portanto, reflexões como essas me motivaram a firmar um compromisso com a prática educativa, a sociedade civil e a pesquisa em Ensino de Física.

Por tais razões a proposta de uma SD que se pautar não apenas na abordagem fenomenológica presente durante o cozimento dos alimentos na panela de pressão, mas também na promoção educativa que conscientize os educandos quanto aos riscos e cuidados envolvidos com este utensílio doméstico, faz-se necessária e oportuna. Logo, este projeto traz contribuições positivas para a Práxis pedagógica do físico educador de forma abrangente, fomentando o fortalecimento da conexão entre o Ensino de Física e a vida cotidiana dos educandos (Freire, 1987; 2020; Delizoicov, 1983; Ferreira; Santos, 2017; Godoi, 2018; Gomes, 2018; Munakata, 2009; Oliveira *et al.*, 2017; Santos; Oliveira; Queiroz, 2021; Solino; Gehlen, 2015; Bastos, 1990; Auth *et al.*, 1995; Araújo, 2021).

1.2 O CONTEXTO E A PROPOSTA DA PESQUISA

A pesquisa foi pensada, desenvolvida e aplicada para o contexto local da cidade de Caravelas, Ba. Esta é uma cidade muito famosa graças, principalmente, a dois grandes fatores: 1º. Os tradicionais carnavais de rua (marchinhas), conforme Figura 3. 2º. Por ser ponto de partida para o PARNA MAR Abrolhos (Figura 5 e Figura 11).

Figura 3 – Imagens dos mestre sala e porta bandeira Coroa e Imperial e Irmãos Portela 2014 e imagens antigas do arquivo da Fundação Benedito Ralile retratando desfile de blocos e carro alegórico da década de 60.



Fonte: Coelho (2014, online).

Caravelas é uma pacata cidade próxima ao litoral da região da Costa das Baleias, no extremo-sul da Bahia (Figura 4), que está a cerca de 886 km da capital, Salvador, e 91 km de Teixeira de Freitas. Possui uma população com cerca de 20.586 mil habitantes, de acordo com o último censo do *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)* realizado em 2022, e uma área territorial com cerca de 2.377,89 km².

Além disso, Caravelas é uma cidade tranquila, com baixíssimos índices de violência, como roubos, furtos, brigas e assassinatos. É um ótimo lugar para se morar, quando se quer sossego e clima bom. Outro fator crucial é o fato de Caravelas ser uma cidade extremamente cultural, com características próprias que moldaram o perfil do povo dessa cidade ao longo dos séculos. Aqui existem movimentos artísticos-musicais extremamente atuantes e que exercem grande influência na educação extraescolar de boa parte da população infanto-juvenil.

Figura 4 – Localização de Caravelas na Bahia e no Brasil.



Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022, online).

Segundo o site *bahia-turismo*, a região onde hoje é Caravelas foi uma das primeiras regiões do Brasil a serem visitadas pelos exploradores portugueses, onde missionários católicos fundaram, em 1503, a Igreja de Santo Antônio do Campo dos Coqueiros, próximo ao Rio das Caravelas, dando origem a um pequeno povoado, que perdurou até o ano de 1700, em que este povoado foi elevado à categoria de vila, passando a se chamar Vila de Santo Antônio do Rio

das Caravelas. Porém, foi somente no ano de 1855 que Caravelas foi elevada à condição de cidade, status que perdura até os dias atuais. Abaixo tem-se uma sequência de figuras que ilustram imagens, como área territorial, localização geográfica e os principais pontos turísticos associadas ao município de Caravelas.

Figura 5 – Localização geográfica do arquipélago dos Abrolhos em relação à cidade de Caravelas, Bahia.



Fonte: Prefeitura Municipal de Caravelas (© 2023a, online).

Como se pode notar na Figura 4, Caravelas vai do litoral até perto do estado de Minas Gerais, MG. É um território extenso que abarca culturas de povos indígenas, ribeirinhos e quilombolas. Foi a principal cidade da região extremo-sul da Bahia durante muitas décadas. Atualmente, essa posição passou a ser concedida a cidade de Teixeira de Freitas.

Figura 6 – Vista área parcial da cidade de Caravelas, Bahia. Ao fundo pode-se notar o porto pesqueiro.



Fonte: Prefeitura Municipal de Caravelas (© 2023b, online).

Na Figura 6 tem-se uma imagem da vista aérea de uma das partes mais bonitas da cidade, pegando a Co-Catedral de Santo Antônio, algumas casas e prédios coloniais e o porto dos pescadores.

Figura 7 – Vista área parcial da cidade de Caravelas, BA. Na imagem pode-se ver a Co-Catedral de Santo Antônio, localizada na praça de Santo Antônio.



Fonte: Prefeitura Municipal de Caravelas (© 2023b, online).

Essa igreja (Figura 7) teve seu processo de construção iniciado no ano de 1725 pelo padre jesuíta Antonio do Espírito Santo, estando localizada na Praça Sto. Antônio, e tendo sido concluída somente no ano de 1750. Além disso, esta igreja possui uma arquitetura colonial e abriga em seu interior imagens dos séculos XVII e XVIII. Atualmente essa igreja é subordinada à Diocese de Teixeira de Freitas desde a nomeação do Papa João Paulo II no ano de 1983, passando a ser a Co-Catedral de Santo Antônio (Prefeitura Municipal de Caravelas, © 2023a, online).

Figura 8 – Vista área parcial da cidade de Caravelas, Bahia. Na imagem pode-se notar o píer.



Fonte: Prefeitura Municipal de Caravelas (© 2023b, online).

Figura 9 – Vista aérea do píer da cidade de Caravelas, Bahia.



Fonte: Prefeitura Municipal de Caravelas (© 2023c, online).

A Figura 9 apresenta o píer de Caravelas, um importante ponto turístico e de lazer da cidade. Além de embarcações turísticas, o local recebe embarcações da Marinha do Brasil, cuja base está localizada no distrito de Barra de Caravelas, a cerca de 10 km de distância. O píer também serve como ponto de atracação para embarcações de órgãos de pesquisa, como o ICMBio e o *Instituto Baleia Jubarte (IBJ)*.

Figura 10 – Igreja Nossa Senhora de Lourdes, no distrito de Ponta de Areia, a 04 km da cidade de Caravelas. À direita da igreja pode-se notar uma árvore centenária da espécie gameleira, partida ao meio em 2022 durante um temporal.



Fonte: Prefeitura Municipal de Caravelas (© 2023b, online).

Figura 11 – Vista aérea geral do Arquipélago dos Abrolhos, com todas suas cinco ilhas.



Fonte: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (s.d., online).

Figura 12 – Vista aérea individual das cinco ilhas que compõem o Arquipélago dos Abrolhos.



Fonte: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (s d., online).

Além disso, o PARNA MAR Abrolhos é um dos melhores locais do planeta Terra para a prática de mergulho e também para a observação e apreciação do encanto das majestosas gigantes gentis, as baleias-jubarte (Figura 13), sendo que são nos meses de agosto a setembro as melhores épocas do ano para tais avistagens (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, s.d.).

De acordo com dados divulgados pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (s.d.), é no final da época do verão Antártico que essas gigantes gentis dos mares começam sua Ilíada em direção à costa brasileira, atraídas pelas águas mais claras, mornas e rasas dessa região. No entanto, as baleias-jubarte passam cerca de quatro meses se alimentando no Ártico antes de chegarem ao Banco dos Abrolhos, por volta de meados do mês de junho, no intuito de acasalar e dar à luz a seus filhotes, onde ficam até o mês de novembro, quando então partem em sua Odisseia rumo à Antártica.

Outras espécies de mamíferos marinhos comuns nas águas mornas que circundam pela região do Arquipélago dos Abrolhos são os golfinhos de dentes-rugosos, golfinhos nariz-de-garrafa e botos-cinza, além da baleia franca austral e a baleia minke (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, s.d.).

Figura 13 – Baleias-jubarte em Abrolhos.



Fonte: Adaptado de Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (s.d., online).

Para uma melhor compreensão do tema, alinhando a proposta à BNCC de 2018 e ao DCRB de 2022, ambas voltadas para o EM, bem como aos princípios constantes em nossa *Constituição da República Federativa do Brasil (CRFB)* de 1988, na *Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB)* de 1996 e na *Declaração Universal dos Direitos Humanos (DUDH)* de 1948, é importante conhecer e explorar a realidade dos educandos (Pernambuco, 1981), preparando-os para o pleno exercício da cidadania e o mundo do trabalho. Além do mais, alguns dos educandos são donas de casa ou trabalham fora e ainda cozinham em seus lares. Isto agrega ao Ensino de Física (Termologia e Mecânica) ao idealizar a cozinha como um ambiente riquíssimo e propício para a alfabetização científica e tecnológica dos educandos durante o processo de formação enquanto indivíduos conscientes e autônomos na sociedade (Moreira, 2018b; Araújo, 2021). Com isso, um ponto de partida para a realização da pesquisa foi estabelecido ao associar os conteúdos a serem trabalhados com as atividades corriqueiras do cotidiano dos educandos, como o ato de cozinhar os alimentos.

Inclusive, há ainda a já mencionada Feira Gastronômica de Mariscos em Caravelas (Figura 14), evento que ocorre anualmente promovido pela *Associação de Moradores, Pescadores e Marisqueiras da Barra de Caravelas*, distrito do município de Caravelas situado a cerca de 9 km da mesma, realizado por essa associação no preparo, apresentação e exposição e venda de pratos típicos da cidade e região, sendo um evento cultural e turístico tradicional do município que conta com apoio da *Prefeitura Municipal de Caravelas*, por meio da articulação entre a *Secretaria de Cultura e Turismo*, o *comércio local* e a *Suzano S/A* (Neuza, 2022). Foi com base nesse pensamento que o núcleo da problematização da pesquisa se firmou em torno do conceito “Equipamento Gerador” (Bastos, 1990), a panela de pressão — um utensílio doméstico amplamente utilizado por muitas pessoas no preparo de diversos tipos de alimentos, tanto em residências quanto em cozinhas profissionais, como restaurantes. Embora não seja essencial para o preparo de frutos do mar, a panela de pressão se mostrou adequada para os estudos dos fenômenos físicos propostos, além de contribuir para a conscientização sobre os cuidados e os riscos associados ao seu uso.

Figura 14 – Feira gastronômica de mariscos de Caravelas.



Fonte: Adaptado de Neuza (2022).

O presente trabalho apresenta uma proposta de um Ensino de Física por meio de uma abordagem relacionada ao cotidiano dos educandos, ou seja, em uma perspectiva dialógica, com base no acervo cultural culinário do município de Caravelas, Bahia. Trata-se, portanto, do estudo sistemático dos fenômenos térmicos em uma panela de pressão durante o cozimento dos alimentos. Aspectos relacionados aos fenômenos mecânicos também são considerados neste trabalho, como objetos de aprendizagem complementares. Além disto, a pesquisa busca abordar alguns conceitos e fenômenos químicos associados ao processo de cozimento dos alimentos,

como forma de interdisciplinaridade entre Física e Química, ambas componentes curriculares da mesma área do conhecimento: *Ciências da Natureza e suas Tecnologias (CNT)*.

A pesquisa visa, também, desenvolver um plano de conscientização junto aos educandos acerca dos perigos e cuidados que devemos ter em manipular a panela de pressão antes, durante e depois do preparo dos alimentos, além de fomentar o combate às propagandas enganosas e fake news.

A proposta contempla os referenciais curriculares da BNCC, documento normativo do MEC, em vigor desde 2018, que regulamenta o ensino das escolas públicas e privadas da Educação Básica brasileira, orientando os objetivos de aprendizagem, norteando os currículos e estabelecendo diretrizes – habilidades e competências – que garantam um ensino igualitário e eficaz a todos os educandos do Brasil, propondo uma abordagem de ensino de Ciências conectada ao contexto sociocultural dos educandos (Brasil, 2018a). A BNCC se encontra alicerçada sobre os preceitos de outro importante documento normativo (são obrigatórios por força de lei) para a Educação Básica, que em 2018 trouxe atualizações das *Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN)* de 1998 para o EM, que têm por objetivo e finalidade nortear o planejamento do currículo escolar e sistemas de ensino brasileiros, garantindo a incorporação dos conteúdos mínimos previstos (Brasil, 2018b).

Isto se reflete no fato de que os educandos, como sujeitos ativos e protagonistas do processo ensino-aprendizagem, atuantes de forma consciente e coletiva dentro do cenário em que vivem por meio de um programa de conscientização dos riscos e das medidas de segurança que devemos conhecer e adotar quando o assunto é cozinhar alimentos na panela de pressão. Portanto, o Ensino de Física na Educação Básica deve ter um caráter interdisciplinar, contextual e voltado para a formação cidadã integral e preparo para o mundo do trabalho, conforme prega a BNCC (Brasil, 2018a).

E tão importante para a fluidez desse processo de ensino-aprendizagem dialógico é a figura do professor-educador, sujeito que desempenha um importante e nobre papel na educação e formação cidadã de crianças, adolescentes, jovens e adultos, atuando como mediador de uma dinâmica metodológica ativa que tem como base os princípios filosóficos da pedagogia humanista de Paulo Freire.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA SOCIAL DA PESQUISA

Como parte importante no âmbito educacional, científico e tecnológico em qualquer nação, a Física como área do conhecimento humano é extremamente crucial para a leitura e

compreensão do mundo real. No entanto, abordagens tradicionais de ensino estabelecidas apenas pela teoria em uma formação bacharelesca da Física nas escolas básicas é totalmente desconectada da real vivência dos educandos, sobretudo no século XXI, implicando automaticamente na redução do interesse dos educandos em relação às aulas de Física. O desinteresse potencializa as dificuldades durante o processo de ensino e aprendizagem. Uma possibilidade didática de se contornar ou mesmo superar tal obstáculo pedagógico é promover e implementar estratégias de ensino e aprendizagem que façam uma associação direta entre a Física ensinada com as vivências diárias dos educandos, sempre partindo do concreto para depois construir a formulação abstrata (teórica) da realidade.

Por esse viés, pauta-se na proposta da pesquisa a criação, implementação e avaliação de uma SD de um Ensino de Física que utilize a panela de pressão como elemento mediador concreto (equipamento gerador) para fazer a conexão da realidade dos educandos com a Física ensinada em sala de aula, por meio de ações dialógico-problematizadoras (Freire, 1987; Delizoicov, 1983) que estabeleçam discussões fenomenológicas a partir das práticas educativas que atendem várias necessidades tanto educacionais quanto sociais.

Tal abordagem contribui também no que tange a Educação Financeira, visto que a economia de gás de cozinha pode ser obtida por meio do conhecimento científico construído por meio das discussões nessa SD. Por fim, há também as questões associadas à segurança na cozinha, em que os conhecimentos construídos agregam na prevenção de acidentes domésticos, promovendo um ambiente mais seguro para as famílias e profissionais da gastronomia que utilizam a panela de pressão no preparo dos alimentos em estabelecimentos como restaurantes, hospitais, hotéis etc.

Além disso o conhecimento científico é um excelente recurso para se combater as fake news e as propagandas comerciais enganosas, sobretudo àquelas associadas com a panela de pressão, e que visam lucrar em cima da “ignorância” das pessoas, uma vez que estas são desprovidas de conhecimento mínimo necessário para julgar a veracidade de tais informações.

1.4 OS LIMITES DA PESQUISA

Poucos fenômenos físicos do cotidiano são explorados durante os anos finais do *Ensino Fundamental (EF)*, no componente curricular Ciências, e no *Ensino Médio (EM)*, com o componente curricular Física. E quando são abordados, é por meio de uma metodologia convencional centrada unicamente no professor. Isso reflete a necessidade de uma conectividade com algo mais concreto do dia a dia dos educandos (Delizoicov; Angotti;

Pernambuco, 2021), como o fato de cozinhar os alimentos. Para isso, é necessário desenvolver as aulas por meio de abordagens metodológicas ativas, centradas no educando e no professor como sujeitos principais do processo educativo. Em corroboração ao exposto, é constatado na parte III dos *Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN)* que

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. Apresenta o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. Além disso, envolve uma lista de conteúdos demasiadamente extensa, que impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo (Brasil, 1999, p. 22).

Com isso, esta pesquisa procurar discutir fenômenos físicos de natureza térmica e mecânica associados à panela de pressão, seja para cozinhar os alimentos ou mesmo que resultam na eventual explosão da mesma. Os objetos de aprendizagem da Física abordados irão girar em torno de situações como a influência que a pressão exerce no tempo de cozimento dos alimentos, as transições de fases e as transformações de energia e a dinâmica do movimento rotacional da válvula reguladora de pressão que ocorrem durante esse processo. Além desses também aborda-se os princípios físicos e leis que regem a explosão de uma panela de pressão, como a Conservação do Momento Linear, a Conservação da Energia Mecânica e as Leis de Newton. Como forma de contextualizar essa situação trágica, foram disponibilizados vídeos que mostram explosões reais e os estragos que elas causam em um eventual acidente com a panela de pressão.

A presente pesquisa utiliza exclusivamente o modelo mais comum de panela de pressão. Trata-se da panela de pressão feita de alumínio cujo encaixe de sua tampa é feito de baixo para cima. Além disto, o travamento de sua tampa é feito sob tensão do cabo da tampa com o cabo da panela (Figura 15 abaixo), conforme esquema representado na Figura 42 (mais adiante).

Figura 15 – Modelo de panela de pressão tradicional.



Fonte: Amazon (© 2021 - 2023, online).

Panelas de pressão do tipo elétricas, por exemplo, não fazem parte do estudo. No mais, o estudo considera apenas o sal de cozinha (cloreto de sódio, NaCl) como ingrediente culinário, de modo a abordar sobre a influência do mesmo sobre o ponto de ebulição da água e, conseqüentemente, no tempo de cozimento dos alimentos.

1.5 A QUESTÃO NORTEADORA DA PESQUISA

No que tange o Ensino de Física, sobretudo com relação aos conceitos associados à Termologia e à Mecânica presentes no tema da pesquisa, em que se preocupa conhecer as visões de mundo dos educandos, surge a seguinte questão norteadora: *Com foco na investigação temática e no contexto sociocultural dos educandos, quais aprendizagens técnicas e científicas sobre os fenômenos físicos na panela de pressão podemos desenvolver, e como essas aprendizagens podem promover competências e habilidades essenciais para uma formação cidadã integral, voltada ao uso consciente e responsável de tecnologias do cotidiano, como a panela de pressão?*

1.6 HIPÓTESE

Uma possível estratégia para identificar as visões de mundo que os educandos têm acerca do tema da pesquisa (Freire, 1987; 2021) seria utilizar uma SD centrada na panela de pressão como “*Equipamento Gerador*” (Bastos, 1990) – conceito estabelecido a partir da ideia de “*Palavras Geradoras*” de Freire (1987) e de “*Alfabetização Técnica*” de Bazin (1977a) –, tendo como sustentação prática um referencial teórico-metodológico pautado nos “*Três Momentos Pedagógicos (3MP)*” de Delizoicov e Angotti (1990) – proposta metodológica que

tem base nas ideias de Freire (1987; 2021) e que propicia aos educandos e professores relações democráticas, as práticas educacionais ativas e a interatividade social. Com isso, os educandos se apropriarão das aprendizagens essenciais, tanto técnicas quanto científicas, necessárias para o pleno desenvolvimento de competências e habilidades que possibilitem aos mesmos uma melhor compreensão do funcionamento da panela de pressão.

1.7 OS OBJETIVOS DA PESQUISA

1.7.1 Objetivo Geral

Identificar e avaliar as contribuições de uma SD de um Ensino de Física, pautado na abordagem dialógico-problematizadora, a partir de uma compreensão abrangente, crítica e reflexiva das fenomenologias físicas presentes no processo de cozimento dos alimentos na panela de pressão, bem como dos benefícios e riscos em se utilizar este utensílio doméstico, promovendo a alfabetização técnica dos educandos.

1.7.2 Objetivos Específicos

- ✓ Estabelecer um referencial teórico-metodológico consistente pautado em um Ensino de Física dialógico-problematizador, de modo a subsidiar a implementação metodológica da SD em prol da aprendizagem ativa dos educandos;
- ✓ Conhecer as percepções dos educandos sobre a abordagem metodológica, as aulas e atividades desenvolvidas e os conteúdos curriculares explorados, identificando pontos de possíveis melhorias bem como aspectos que contribuíram para uma melhor compreensão da Física e avaliação da SD implementada;
- ✓ Analisar o progresso das aprendizagens dos educandos por meio de uma abordagem formativa, a partir da comparação entre os conhecimentos prévios identificados e os conhecimentos científicos construídos por eles ao longo da SD;
- ✓ Avaliar as contribuições da SD para a formação integral dos educandos, a partir da percepção do desenvolvimento de competências e habilidades em Física e na alfabetização técnica que possam ser aplicadas em situações reais de leitura e escrita de mundo.

1.8 UMA PRÉVIA DOS CAPÍTULOS SUBSEQUENTES

O segundo capítulo, intitulado Estado da Arte, busca evidenciar o estado atual do conhecimento científico no Ensino de Física, apresentando uma revisão bibliográfica abrangente das pesquisas de relevância pedagógica bem como das contribuições mais recentes. Tais pesquisas foram predominantemente consultadas por meio de artigos científicos publicados em periódicos em que, de alguma forma, utilizavam a panela de pressão dentro do contexto do Ensino de Física. No entanto, algumas poucas dissertações de mestrados acadêmicos e monografias de cursos de graduação foram encontradas. Ao todo foram consultados 20 (vinte) trabalhos acadêmicos desta natureza. Ao explorar os lapsos existentes e as propensões emergentes nesse cenário, buscou-se contextualizar a pesquisa dentro do atual panorama educacional.

Uma sólida e consistente fundamentação teórica sobre as abordagens pedagógicas, metodológicas e do Ensino de Física é trazida nos terceiro capítulo. É aqui que se esmiúça as principais reflexões que dão suporte estrutural à pesquisa e que são essenciais para o progresso da mesma. Aqui faz-se uma abordagem da pedagogia humanista de Paulo Freire e de como suas ideias e princípios filosóficos podem ser incorporados no Ensino de Física de modo a tornar a aprendizagem da Física mais humanizada e contemporânea. Os desafios e percalços que permanecem importunando o progresso da prática docente em Física no Brasil também são alvos de reflexões e considerações, além de minuciosa abordagem sobre os *“Equipamentos Geradores”* de Bastos (1990), da *“Alfabetização Técnica”* de Bazin (1977a) e dos *“Três Momentos Pedagógicos”* de Delizoicov e Angotti (1990) e das formas de avaliação (diagnóstica, formativa e somativa) da aprendizagem a serem consideradas na SD. Por fim, este capítulo se encerra com uma história evolutiva da panela de pressão e uma abordagem clara, detalhada e aprofundada dos principais conceitos e fenômenos físicos associados a ela.

O quarto capítulo detalha a abordagem metodológica estabelecida e empregada na condução da pesquisa, bem como a natureza do conhecimento envolvido na proposta da pesquisa e suas perspectivas filosófica e epistemológica pautadas nos *“Obstáculos Epistemológicos”* e nas *“Rupturas Epistemológicas”* de Bachelard (1991; 1996), sua caracterização, os sujeitos e o ambiente da pesquisa. Aqui os instrumentos utilizados para obtenção de dados, como registros fotográficos e audiovisuais, aplicações de questionários impressos e online etc., são apresentados, bem como a confecção do aparato experimental utilizado no núcleo da problematização da pesquisa, que consiste de uma panela de pressão convencional adaptada para aferir temperatura e pressão em seu interior e os materiais

necessários e utilizados para tal confecção. Apresenta-se também como a SD se desenvolve em cima dos 3MP.

O capítulo 5 dedica-se à análise qualitativa dos dados obtidos durante a realização da SD. Os dados foram coletados por meio de roteiros, questionários e entrevistas do tipo semiestruturadas, segundo Gil (2023), Lakatos e Marconi (2021; 2022a; 2022b) e Ludke e André (1986). O processo de análise se deu por meio da avaliação da eficácia da SD com relação aos objetivos específicos de aprendizagens, considerando predominantemente os aspectos formativos. Os referenciais teóricos dos capítulo 2 (Estado da Arte) e capítulo 3 (Referencial Teórico-Metodológico) corroboram na validação das discussões feitas neste capítulo, implicando numa compreensão abrangente das descobertas e percepções durante a pesquisa.

Por fim, o capítulo 6 encerra o corpo principal da dissertação reunindo as principais ponderações derivadas da análise dos resultados (capítulo 5), discutindo-se as implicações práticas e teóricas dos espólios, fornecendo uma síntese coerente e reflexiva do trabalho desenvolvido em um panorama geral, evidenciando pontos fortes e fracos a serem melhorados da SD. Aqui, conclui-se a pesquisa defendendo a tese de que utilização da panela de pressão como elemento central no Ensino de Física é eficaz e contribui de maneira significativa para o aprendizado dos educandos, representando uma abordagem inovadora e valiosa para o campo do Ensino de Física.

CAPÍTULO 2 – ESTADO DA ARTE

2.1 CRITÉRIOS DE BUSCA E ANÁLISE DOS TRABALHOS ACADÊMICOS

De modo a se estabelecer correlações didáticas e metodológicas entre a proposta desta pesquisa de um Ensino de Física voltado para a temática “*A Física na Cozinha*” (Migliavacca; Witte, 2014), ao qual se adota a panela de pressão como elemento central de discussões fenomenológicas, com a literatura científica no âmbito educacional existente, para que se possa fornecer subsídios teóricos que reforcem a validação do processo de análise e discussão dos dados e resultados obtidos, buscou-se trabalhos cuja autoridade e credibilidade de seus autores fossem reconhecidas pela comunidade acadêmica.

A grande maioria dos trabalhos consultados, apresentados e discutidos estão diretamente associados à proposta de um Ensino de Física que utiliza a panela de pressão como forma de contextualização cotidiana para discussão de conceitos e fenômenos físicos associados ao seu funcionamento, seja de forma protagonista ou coadjuvante. Com isso, no intento de delinear as buscas por trabalhos que contribuam para a análise dos dados obtidos desta pesquisa, foram pré-estabelecidos como critérios de buscas os trabalhos que:

1. aplicaram metodologias de ensino e aprendizagem centradas no educando;
2. fizeram uso de utensílios domésticos para contextualização do Ensino de Física;
3. validaram a importância da prática experimental no Ensino de Física;
4. utilizaram a panela de pressão para demonstrações práticas em sala de aula;
5. discutiram a interdisciplinaridade no Ensino de Física.

Alguns passos a serem executados durante a realização das buscas por trabalhos acadêmicos são estabelecidos e apresentados por Gil (2023, p. 51-52). Segundo o autor, é primordial que o pesquisador:

- 1º. determine as palavras-chave ou descritores;
- 2º. acesse o(s) site(s) da(s) base(s) de dados;
- 3º. estabeleça uma delimitação temporal para os trabalhos publicados;
- 4º. identifique os trabalhos potencialmente relevantes para a pesquisa;
- 5º. selecione os trabalhos realmente relevantes para a pesquisa;

6°. categorize os trabalhos realmente relevantes quanto ao tipo de pesquisa: artigo, monografia, dissertação ou tese.

Com isso, a partir do 1º passo, foram utilizados as seguintes palavras-chaves ou descritores durante as buscas:

1. O uso da panela de pressão no Ensino de Física;
2. A Física da panela de pressão;
3. A panela de pressão como equipamento gerador no ensino de Física;
4. Física na cozinha;
5. Física do cozimento dos alimentos.

Posteriormente, conforme o 2º passo, no que tange à busca de **artigos e monografias** publicados de 1982 a 2022 e que utilizam a panela de pressão em suas propostas didático-metodológicas, foram usadas as seguintes plataformas de buscas:

- *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*;
- *Scopus, o Portal de Periódico CAPES*;
- *Web of Science*;
- *Sucupira*;
- *eduCAPES*;
- *Lume, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)*;
- *Google Acadêmico*.

Já para os programas de **mestrados e doutorados**, tanto de natureza acadêmica quanto profissional, tiveram as dissertações e teses buscadas por meio dos seguintes canais de buscas:

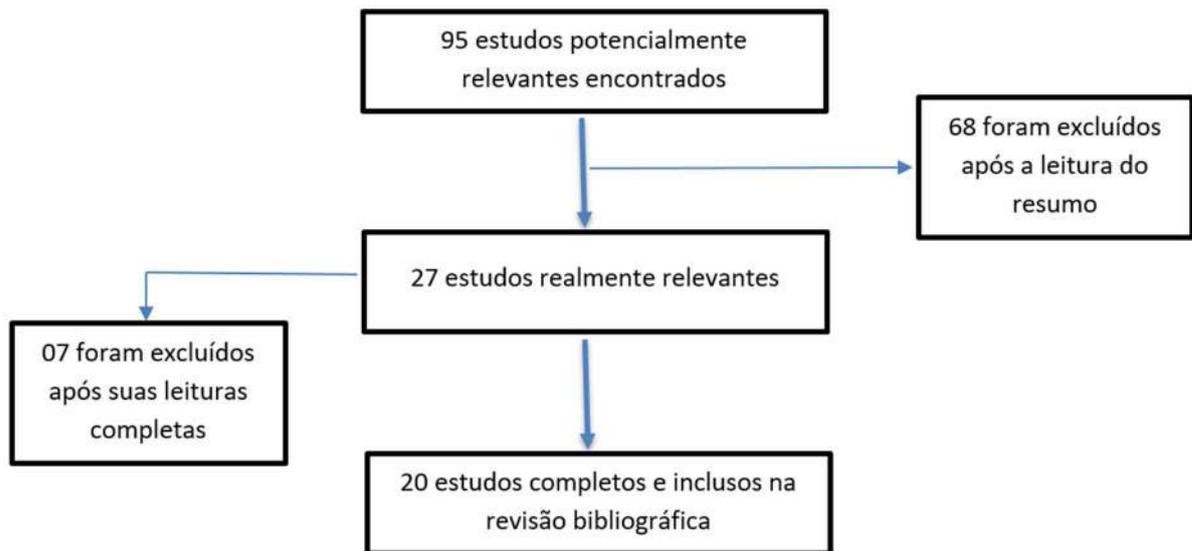
- *Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD)*;
- *CAPES Thesis and Dissertation Catalog*;
- *Portal de Periódico CAPES*.

As buscas realizadas por **dissertações e produtos educacionais vinculados ao MNPEF** sobre o uso da panela de pressão no Ensino de Física que foram defendidos e

publicados de 2014 a 2022, foram realizadas diretamente no banco de dados da página oficial do programa e também diretamente no repositório institucional de cada um dos polos credenciados em atividade e também extintos. No entanto, após as buscas, constatou-se que não existem trabalhos acadêmicos condizentes com a proposta desta pesquisa de um Ensino de Física que faz uso da panela de pressão como elemento central de discussões fenomenológicas em sala de aula, nem mesmo de forma secundária.

A Figura 16 abaixo contém uma diagramação esquemática de como foi feita essa pesquisa, seguindo os as sugestões (4º e 5º passos) supracitadas por Gil (2023), em que foram identificados e selecionados os trabalhos encontrados, segundo também estabelece Fonseca e Costa (2023).

Figura 16 – Fluxograma do processo de seleção dos trabalhos acadêmicos.



Fonte: Adaptado de Fonseca e Costa (2023, p. 3).

Com isso, o 6º passo proposto foi dado, que consistiu em categorizar os trabalhos realmente relevantes para esta pesquisa, que foram quantificados em 27 (vinte e sete), conforme se pode ver na Figura 16, de modo a verificar quais deles poderiam ser utilizados na pesquisa. Ao todo, após incessantes buscas na internet, foram encontrados 95 (noventa e cinco) trabalhos acadêmicos a partir dos critérios de busca pré-estabelecidos. No entanto apenas 20 (vinte) resultaram em estudos completos que foram incluídos na revisão de literatura desta pesquisa para a análise final e discussão de seus resultados e abordagens metodológicas e pedagógicas adotadas de modo a servir de subsídio teórico para a mesma. Desse total resultante, 70% são referentes a artigos científicos publicados em periódicos online na internet (14 artigos), ao passo que as monografias de cursos de graduação na modalidade licenciatura plena e as dissertações

de mestrado representam 20% (04 monografias) e 10% (02 dissertações), respectivamente. Contudo, apesar de muita busca, não foi encontrada nenhuma tese de doutoramento que utilizasse dentro de sua proposta de Ensino de Física o uso da panela de pressão como recurso didático-metodológico como possibilidade para uma aprendizagem mais concreta e aprazível aos educandos.

2.2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO SOBRE O ENSINO DE FÍSICA/CIÊNCIAS ASSOCIADO À PANELA DE PRESSÃO

No atual cenário educacional, devido à real necessidade de uma educação que promova e administre uma formação geral básica acadêmica para que as pessoas possam exercer com plenitude sua cidadania, é fundamental um Ensino de Física humanizado e adequado à essa realidade e que é praticamente consenso na comunidade acadêmica de professores-pesquisadores dessa área, que abra um leque de possibilidades aos educandos que permita uma melhor compreensão dos fenômenos naturais e tecnológicos presentes no mundo real e na vida das pessoas. Logo, por essa ótica, reflexões dialógico-problematizadoras realizadas a partir do estudo dos conceitos e fenômenos físicos de natureza térmica e mecânica são essenciais para se chegar à uma melhor compreensão do uso de um utensílio doméstico bastante comum na culinária brasileira, que é a panela de pressão.

Nesse sentido, muitos artigos científicos publicados em periódicos online, além de algumas monografias de graduação, dissertações de mestrado e teses de doutoramento, contribuíram para o aprimoramento do atual e precário cenário de Ensino de Física nas escolas públicas brasileiras. Esses mesmos estudos buscaram, dentro de suas propostas de ensino, contextualizar de forma integral ou parcial a panela de pressão como elemento promotor de discussões fenomenológicas associadas a seu uso durante o processo de cozimento dos alimentos, de modo a fomentar uma melhor compreensão dos conceitos e fenômenos físicos associados ao seu funcionamento, além de reflexões humanizadas quanto às questões voltadas à segurança durante seu manuseio.

Dantas e Massoni (2019), por exemplo, se fundamentaram nos pilares da *Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS)* de David Ausubel para desenvolver e aplicar uma SD pautada na construção coletiva de conceitos físicos por meio de uma abordagem qualitativa por meio de microprojetos, cujos temas de pesquisa foram escolhidos pelos próprios educandos dos anos iniciais do EF em escolas da rede pública de ensino. Um dos temas escolhidos por um dos grupos envolvidos foi o de investigar a "Física da panela de pressão". Isso demonstrou aos

autores certo interesse com objetos comuns ao dia a dia dos educandos. A avaliação da SD proposta pelos autores se deu exclusivamente por aspectos formativos.

Subsidiado pelos princípios filosóficos da pedagogia freiriana, Frigo (2022) adaptou materiais didático-pedagógicos aos diversos perfis de educandos em uma turma da EJA durante o período pandêmico do SARS-CoV-2. Sua proposta de Ensino de Termologia enfrentou resistência dos educandos devido a experiências negativas do método tradicional de Ensino de Física. Apesar disso, sua proposta foi considerada bem-sucedida, pois os educandos conseguiram relacionar os conhecimentos físicos com situações reais do cotidiano, como a rapidez que a panela de pressão proporciona em cozinhar os alimentos. No entanto, segundo o autor, **a maioria dos educandos tiveram dificuldade em compreender o movimento rotacional da válvula reguladora de pressão**, o que levou a uma lacuna de exploração dos fenômenos físicos relacionados a essa situação.

Rodrigues *et al.* (2017) utilizaram o contexto das festas juninas do nordeste brasileiro como forma de abordar conceitos físicos como temperatura e pressão. Para isso, os autores propuseram atividades práticas que estavam associadas aos processos de cozimentos do milho e do amendoim com o uso do utensílio doméstico panela de pressão. A perspectiva filosófica dessa pesquisa se baseou nas ideias pedagógicas propostas por Freire (1987; 2020; 2021), no qual os autores utilizaram a abordagem dialógico-problematizadora para promover a participação ativa e central dos educandos no desenvolvimentos dessas atividades. Os autores buscaram fazer uma correlação entre os conhecimentos físicos supracitados com esse contexto sociocultural extremamente popular na região nordeste. Os resultados obtidos por eles indicavam que uma parcela referente a 40% dos educandos conseguiram discutir, com bases em conhecimentos científicos recém construídos, as fenomenologias associadas aos processo rápido de cozimento desses alimentos por meio da panela de pressão. Para os autores, a abordagem metodológica utilizada refletiu uma contribuição significativa nas aprendizagens desses educandos, enfatizando também que a Ciência se faz presente para além dos livros didáticos e das instituições de pesquisas.

Pierson e Toti (2006) propuseram um método de ensino de Física baseado na exploração das experiências dos educandos no mundo do trabalho. Eles utilizaram a Teoria de Aprendizagem e Desenvolvimento da Psicologia Histórico-Cultural para discutir conceitos físicos, como temperatura e pressão, relacionados ao cozimento dos alimentos em panelas de pressão. Também abordaram a questão da segurança no ambiente doméstico, destacando os riscos de obstrução da válvula reguladora de pressão e a possibilidade de explosão da panela.

Coelho e Costa (2013) propuseram uma abordagem pedagógica que envolveu a realização de práticas experimentais para explorar conceitos como pressão e sua influência no ciclo da água, fazendo uma associação superficial com o cozimento dos alimentos na panela de pressão. Os autores destacaram a importância dessa abordagem prática-experimental contextualizada como estratégia de ensino eficaz para promover uma aprendizagem significativa e envolver os educandos, tornando o Ensino de Ciências mais participativo ao considerar conhecimentos prévios de situações cotidianas.

Oliveira, Cirino e Filho (2017) utilizaram as *Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC)* para investigar a compreensão dos educandos da segunda série do EM, a respeito dos gases ideais nas aulas de Física. Eles utilizaram o *Physics Education Technology Project (PhET)* e o GeoGebra para examinar as propriedades dos gases ideais e suas representações gráficas. Os resultados mostraram que a maioria dos educandos compreendeu os conceitos e fenômenos físicos relacionados aos gases ideais, especialmente em transformações gasosas isocóricas, como o exemplo da panela de pressão.

O autor Machado (2020) investigou as contribuições da metodologia dos *Problemas Geradores de Discussões (PGD)* no Ensino de Física, utilizando a panela de pressão como exemplo. Ele propôs quatro questões relacionadas ao funcionamento da panela, abordando princípios físicos e aspectos econômicos. A metodologia PGD foi considerada promissora na promoção de novos conhecimentos e valores sociais, ao considerar aspectos científicos, tecnológicos e sociais.

Siqueira (2013) utilizou a panela de pressão como exemplo para ajudar os educandos a relacionar conceitos de calor, temperatura e pressão com suas experiências diárias. Ele busca criar uma base visual com casos hipotéticos de movimentação de partículas para facilitar a compreensão e promover uma aprendizagem significativa ao conectar novos conhecimentos com os aprendidos anteriormente.

Para Sá (2021), a panela de pressão é um elemento didático valioso no Ensino de Física quando utilizada em um contexto em que o professor dialogue com os educandos fazendo-os refletir sobre o funcionamento desse utensílio doméstico a partir de uma conexão com o contexto das máquinas térmicas. Sua abordagem pedagógica busca aproximar os conceitos físicos estudados aos cotidianos dos educandos, se baseando na aprendizagem significativa de David Ausubel e nos princípios didáticos estabelecidos por Antônio Zabala. O autor faz uma defesa das abordagens ativas no Ensino de Física por meio da ruptura com o modelo tradicional de ensino, focando na aprendizagem conceitual e fugindo das aprendizagens mecânicas e as memorizações de fórmulas matemáticas.

O artigo "A Cozinha como Laboratório para Discutir Física de Forma Contextualizada" descreve uma atividade de extensão realizada com professores em formação inicial e em exercício, utilizando o preparo de alimentos como ponto de partida para o ensino do conhecimento científico. Destaca-se a preparação de uma salada de batatas com maionese na panela de pressão, explicando as vantagens desse método de preparo. Os autores, Rosa *et al.* (2020), consideram essa abordagem eficaz por permitir o engajamento dos educandos e professores na disciplina de Física, associando o ensino à vida cotidiana e destacando a cozinha como um laboratório didático valioso para o ensino de Ciências.

Guidolin (2014) investigou o impacto da introdução de atividades mediadas por hiperfísica educacional nas aulas de Física. Utilizando o software PhET, foram implementadas simulações computacionais relacionadas ao estudo dos gases e à panela de pressão. A eficácia da abordagem foi avaliada por meio do feedback pedagógico dos educandos, e aproximadamente 70% deles obtiveram êxito em responder corretamente às perguntas propostas e relacionar os conceitos físicos aprendidos com situações do cotidiano.

Com o objetivo de aproximar os estudantes de um curso de graduação em Licenciatura Plena em Química das abordagens didático-metodológicas que possibilitam o protagonismo estudantil na Educação Básica, os autores Faria e Silva (2022) desenvolveram uma disciplina optativa para esse curso cuja temática é referente à culinária. Segundo os autores, os estudantes dessa disciplina realizaram atividades investigativas com a panela de pressão por meio de discussões que envolveram o funcionamento da mesma, de suas válvulas de segurança e controle de pressão, a influência que o aumento da pressão exerce sobre o tempo de cozimento dos alimentos, e as medidas preventivas quanto os riscos em seu uso. Os resultados obtidos pelos autores destacaram a importância que o conhecimento científico tem nas práticas cotidianas, o que vem a influenciar positivamente as práticas educativas futuras na Educação Básica desses professores em formação.

Brandão *et al.* (2019) utilizaram a *Pedagogia Histórico-Crítica (PHC)* para discutir o uso da escolar da panela de pressão no cozimento dos alimentos como forma de promover discussões críticas sobre aspectos econômicos. Dividiram dois grupos para preparar arroz e feijão usando panelas de pressão na cozinha da escola, com cada grupo registrando suas práticas experimentais em vídeos, explicando os passos envolvidos e os cuidados necessários ao usar a panela de pressão, apresentando os resultados aos outros educandos da escola, demonstrando a técnica envolvida no preparo dos alimentos e promovendo reflexões sobre o conceito de calor. Os autores propuseram também que um professor formasse uma equipe para estudar formas de economizar gás na escola, levando críticas à Prefeitura por não oferecer cursos de formação

para as cozinheiras. Após análise, perceberam que o ensino investigativo proporcionou um entendimento mais significativo para os alunos, indo além do currículo tradicional.

Figueirêdo *et al.* (2015) abordaram por meio de um ensino dialógico-problematizador conceitos físico-químicos como pressão, temperatura e volume através de discussões baseadas na experiência dos educandos com a panela de pressão. Eles utilizaram uma metodologia experimental e promoveram uma revisão conceitual para superar as dificuldades dos alunos. Recursos audiovisuais foram utilizados para discutir os riscos e cuidados no manuseio da panela de pressão.

Dimira e Carvalho (2016) propõem o desenvolvimento de um material didático inovador para tornar a Física acessível aos futuros professores da *Educação Infantil (EI)* e dos anos iniciais do EF. O material enfatiza a investigação dos princípios físicos presentes no cotidiano, com foco na compreensão dos fenômenos naturais e das transformações humanas. A proposta foi aplicada no *Curso de Formação de Docentes (CFD)*, com ênfase na avaliação da consistência conceitual dos materiais didáticos e na análise dos procedimentos de transposição didática. Os autores destacam o uso de um material lúdico e inovador para reforçar a formação teórica e prática dos educandos, promovendo uma compreensão mais profunda do mundo e de suas transformações. A aplicação específica do material relacionada ao tema "panela de pressão" demonstrou o interesse dos educandos no conteúdo apresentado e o desenvolvimento em relação à Física, evidenciando a eficácia do ensino dos conceitos físicos de forma acessível aos educandos da EI e dos anos iniciais do EF.

Cerdeira (2015) aborda o aspecto histórico e fenomenológico da panela de pressão em seu trabalho de conclusão de curso (monografia) voltado para o Ensino de Física, destacando a importância de debater os riscos do manuseio inadequado e conscientizar os educandos sobre as instruções de segurança do INMETRO. O autor também foca na relação entre a pressão da panela e o tempo de cozimento dos alimentos.

Kohlrausch (2020) implementou uma estratégia de ensino e aprendizagem em suas aulas de Física utilizando a metodologia ativa "Peer Instruction" (Instrução por Pares) e baseando-se nas concepções pedagógicas de Paulo Freire. A atividade experimental consistiu em cozinhar um alimento em duas panelas diferentes (uma de pressão e outra comum) e registrar o tempo de cozimento. A autora também abordou questões de segurança no manuseio da panela de pressão, mas não aprofundou nas fenomenologias ocorridas durante o processo de cocção.

Dentre todos os trabalhos consultados, o de Rodrigues e Possamai (2019) é o único que utiliza a panela de pressão como objeto central para explorar o Ensino de Física de forma prática por meio de uma metodologia que envolveu a realização de experimentos com uma panela de

pressão adaptada para aferir a temperatura de ebulição da água em seu interior e comparando com a medida de temperatura de ebulição da água em uma panela comum aberta. Os resultados obtidos pelos autores indicaram a eficácia da prática implementada por eles, visto que permitiram aos educandos observarem e compararem os valores registrados de temperaturas em tempo real, compreendendo melhor os conceitos e fenômenos físicos envolvidos nesse processo, tornando o Ensino de Física mais interessante e envolvente para os educandos.

Chagas *et al.* (2020), seguindo as diretrizes da BNCC para o EF, propuseram uma abordagem diferenciada para o Ensino de Ciências no 7º ano, utilizando a panela de pressão como objeto central. Eles discutiram sobre acidentes domésticos envolvendo o uso da panela de pressão e concluíram que esse utensílio possui potencial pedagógico para tornar o ensino mais engajador e eficiente, despertando a curiosidade dos alunos e fornecendo conhecimentos sobre os riscos envolvidos.

Barbosa (2022) promoveu uma abordagem pedagógica pautada no Ensino por Investigação para implementar uma SD de ensino e aprendizagem em alguns conceitos associados à Físico-Química que foi implementada no contexto pandêmico da COVID-19. Por conta disso, o autor realizou as atividades remotamente, na qual utilizou a panela de pressão como recurso didático para abordar alguns conceitos associados ao fenômeno físico envolvendo o cozimento dos alimentos neste utensílio doméstico, pautando-se na diferença entre o tempo gasto para cozinhar os alimentos neste tipo de panela com o de uma panela comum, abordando conceitos físico-químicos como transições de fases, calores latente e específico, pressão de vapor, tonoscopia e ebulioscopia. A SD aplicada foi julgada como exitosa em sua proposta, visto que percebeu-se uma evolução nas aprendizagens dos educandos com relação aos conceitos estudados.

2.3 ANÁLISE COMPARATIVA

Dentre os 20 (vinte) estudos apresentados na seção anterior, dos quais são classificados entre artigos, monografias e dissertações, alguns se assemelham em algum aspecto de suas abordagens com a proposta da presente pesquisa. A Tabela 1 mostra o percentual comparativo entre os trabalhos similares com a proposta desta pesquisa. No entanto, alguns trabalhos apresentam mais de uma das abordagens em comum com a presente pesquisa, conforme discriminados na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparativo percentual entre os trabalhos similares com a proposta da presente pesquisa.

Abordagem	Quantidade	Percentual comparativo
Experimentação	8	40%
Uso de TIC	3	15%
Visões de mundo e autonomia	6	30%
Interdisciplinaridade	3	15%
Conscientização social	3	15%
Aspecto histórico	1	5%

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir de dados da pesquisa.

Essa tabela evidencia que 40% dos 20 (vinte) trabalhos mencionados usam uma abordagem experimental que esteja associada direta ou indiretamente com os fenômenos físicos que ocorrem na panela de pressão durante o cozimento dos alimentos. No entanto, somente 01 (um) destes trabalhos realiza uma prática experimental similar a feita na presente pesquisa.

De todos os trabalhos apresentados, **o artigo de Rodrigues e Possamai (2019) é o que mais se aproxima da proposta da presente pesquisa**, visto que tal trabalho possui como núcleo da problematização de sua pesquisa o uso da panela de pressão real com uma tampa adaptada para aferir a temperatura de ebulição da água em seu interior. No entanto, os autores não fizeram adaptação para também medir o valor da pressão interna, tal qual feito nesta pesquisa. Dentre todos os trabalhos consultados, apenas este teve tal proposta.

Contudo, outra proposta nesta mesma linha é mostrada em uma vídeo-aula do professor Dr. Luiz Antonio de Oliveira Nunes, da USP de São Carlos, em seu canal Oficiencia, disponibilizado na plataforma de vídeos YouTube. Nota-se que seu aparato experimental, muito bem elaborado por sinal, consiste de uma panela de pressão cuja tampa sofreu adaptações para aferir tanto a temperatura de ebulição da água em seu interior, quanto a pressão dentro da panela. Os instrumentos de medidas adaptados na tampa consistem de um termômetro digital no interior da panela e em contato direto com a água em seu interior, e ligado externamente a um multímetro localizado sobre a bancada experimental, além de um manômetro vertical de rosca com ponteiro (Nunes, 2017).

Já a abordagem humanista de Freire (1987; 2020), que considera as visões de mundo dos educandos, ou seja, as suas experiências pessoais e/ou profissionais de vida, além de fomentar a autonomia dos mesmos, tal qual é proposto por esta pesquisa, uma vez que as ideias da pedagogia humanista de Paulo Freire faz parte do aporte teórico deste trabalho, aparece em 30% dos 20 (vinte) trabalhos apresentados.

No entanto, apenas 01 (um) trabalho faz menção ao aspecto histórico que culminou na panela de pressão atual. Ou seja, 5% dos 20 (vinte) trabalhos abordaram a questão histórica

como construção do conhecimento científico associado aos fenômenos físicos durante o cozimento dos alimentos na panela de pressão.

Já a abordagem que faz uso de dispositivos computacionais a fim de proporcionar simulações computacionais de fenômenos físicos e situações semelhantes ao que ocorre na panela de pressão, utilizando o software online gratuito PhET (esse fato converge com a pesquisa uma vez que aqui é abordada uma atividade de simulação computacional no PhET feita com os alunos em um determinado momento da SD para simular situações associadas à panela de pressão), ou mesmo o uso de vídeos educativos, assim como os trabalhos que fizeram uma *abordagem interdisciplinar*² entre Física e Química, quando abordam sobre conceitos químicos que afetam o ponto de ebulição da água, como a ebulioscopia (esse fato converge com a pesquisa uma vez que aqui é abordada uma atividade experimental feita com os alunos em um determinado momento da SD).

No entanto, nenhum dos trabalhos pesquisados utilizou em sua metodologia a dinâmica metodológica dos 3MP de Delizoicov e Angotti (1990), ou mesmo a concepção literária de equipamentos geradores proposta por Bastos (1990), tal qual a presente pesquisa fez.

Portanto, diante dos estudos apresentados é possível extrair algumas considerações finais, como o fato da análise feita sobre esses trabalhos revelar lacunas e potenciais contribuições para a pesquisa em questão, evidenciando a singularidade do estudo no emprego da metodologia dos 3MP, tal qual na consideração da literatura de equipamentos geradores. Este panorama ressalta a relevância e a originalidade da presente pesquisa no contexto do Ensino de Física relacionado aos processos de cozimento dos alimentos na panela de pressão.

² Esse tipo de abordagem foi considerada na presente pesquisa durante os segundo e terceiro momentos pedagógicos. As interconexões feitas foram entre os componentes curriculares Física e a Química, as quais pertencem a uma mesma área do conhecimento (CNT), e entre Física e os componentes curriculares Arte e Língua Portuguesa, ambas pertencentes outra área do conhecimento; *Linguagens, Códigos e suas Tecnologias (LCT)*.

CAPÍTULO 3 – REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

3.1 A IMPORTÂNCIA DE UM ENSINO DE FÍSICA HUMANIZADO E CONTEMPORÂNEO DIANTE DOS DESAFIOS IMPOSTOS À PRÁTICA EDUCATIVA NO BRASIL NO SÉCULO XXI

A compreensão, descrição e divulgação dos conhecimentos científicos construídos por inúmeros cientistas ao longo do tempo a respeito dos fenômenos físicos no nosso dia a dia, desde aqueles em escalas subatômicas e quânticas até aqueles em escalas cósmicas e relativísticas, servindo de base para o desenvolvimento de inúmeros avanços e contribuições tecnológicos ao longo de séculos. Entretanto, muitas pessoas têm pouco ou quase nenhum conhecimento sobre as teorias, princípios, leis e fundamentos básicos que regem esses fenômenos bem como os aspectos sociais e históricos que integram a Física (Ferreira; Santos, 2017).

Dessa forma, há uma percepção equivocada, pela maioria das pessoas, de que a Física por ser uma ciência que estuda a natureza e suas leis, está automaticamente desconectada das questões sociais mais relevantes, resultando numa visão restrita da Física e reduzindo-a a uma abordagem matemática e técnica (bacharelesca), negligenciando sua relação com a realidade social (Santos; Oliveira; Queiroz, 2021; Araújo; Andrade, 2021). No entanto, essa visão está equivocada, pois Paulo Freire não estabelece quais tipos de conhecimento são adequados para gerar reflexões e criticidade tanto nos educadores quanto nos educandos.

Por isso, devido a tamanha notoriedade e relevância para o desenvolvimento humano social e tecnológico, ela passou por transposições didáticas a fim de ser adaptada para um público em fase prévia de aprendizagem na etapa final da Educação Básica, tornando-se um componente curricular obrigatório nas escolas de EM em todo o mundo (Trindade, 1998).

Apesar de estarmos inseridos no cenário altamente tecnológico do século XXI, em que as mais variadas tecnologias estão disponíveis e acessíveis à população, uma grande parcela dos professores de Física ainda tem se pautado nas metodologias arcaicas e engessada de ensino e aprendizagem do século XIX, em escolas que, em sua maioria, ainda seguem os moldes tradicionais das escolas do século XX (Moreira, 2015, online).

Nas palavras de Moreira (2017, p. 2), ao argumentar que o Ensino de Física há décadas tem sido incentivado por uma aprendizagem mecânica de conteúdos que não estão alinhados com a realidade dos educandos, *"O ensino de Física estimula a aprendizagem mecânica de conteúdos desatualizados. Estamos no século XXI, mas a Física ensinada ainda está no século*

XIX". E essa visão é abrangida por Santos, Oliveira e Queiroz (2021, p. 216) ao afirmarem que *“a escola pensada no século XIX foi sendo fundamentada na relação de poder entre professor e aluno, calcada no princípio de que o professor era o detentor do saber, e o aluno, da ignorância. Tornou-se uma instituição disciplinadora e padronizada. Na tentativa de homogeneizar as diferenças, o reconhecimento de outras culturas ou grupos das minorias foi historicamente silenciado”*. Portanto, essa falta de atualização dos conteúdos contribui para a defasagem do Ensino de Física e dificulta a aprendizagem dos educandos. Além do mais, a prática metodológica do professor de Física também desempenha papel impactante em seu ensino e aprendizagem.

Essa abordagem tradicional e bacharelesca na Educação Básica, em que o professor ocupa o topo de uma pirâmide das relações pedagógicas em sala de aula, com os educandos compondo a base dela, se caracteriza como uma relação pedagógica verticalizada (hierarquizada), em que o professor é tido como o único detentor do saber, enquanto os educandos são considerados e tratados como “potes vazios” (Freire, 1987; 2021; Moreira, 2017). E essa realidade é ainda mais alarmante quando se trata do Brasil, sobretudo quanto às escolas públicas estaduais, em que grande parte desses professores não possuem formação acadêmica e profissional adequada voltada para o Ensino de Física (Moreira, 2017).

Além disso, esses professores apenas replicam a forma como aprenderam os conteúdos que ensinam com seus antigos professores na escola ou mesmo em suas formações superiores e como foram tratados por eles (Gomes, 2018; Bezerra *et al.*, 2009). Arelado ao medo de ruptura com o padrão já enraizado em suas práticas pedagógicas de buscar novas formas mais cativantes de ensinar a Física, muitos professores acabam influenciando negativamente na formação científica e cidadã dos educandos. Contudo, muitos pesquisadores têm se empenhado em contribuir para o desenvolvimento do Ensino de Física com suas pesquisas, das mais diversificadas possíveis, voltadas para a identificação de problemas emergentes e inerentes a esse tipo de processo educacional, de modo a criar meios para superar alguns dos vários obstáculos e desafios que surgem ao longo da carreira do magistério.

Para superar esse desafio é necessário adotar uma abordagem humanizada e contemporânea no Ensino de Física (Santos; Oliveira; Queiroz, 2021). Isso implica em considerar o contexto social, cultural e histórico dos educandos, bem como suas experiências e conhecimentos prévios, sendo fundamental também promover uma metodologia participativa, envolvendo os educandos em atividades práticas, experimentos, simulações computacionais, usos das *Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC)* e discussões que estimulem a curiosidade e a criatividade (Solino; Gehlen, 2015; Araújo; Andrade, 2021).

Nesse viés, destacam-se as dissertações e produtos educacionais desenvolvidos e aplicados por mestrandos vinculados ao MNPEF nas escolas básicas brasileiras, sobretudo nas das redes públicas de ensino. Essas pesquisas vêm contribuindo para auxiliar diretamente os profissionais da Educação Básica que atuam na disciplina de Física, dando-lhes subsídios teóricos e metodológicos, os quais contemplem um leque de abordagens didático-pedagógicas voltadas para o Ensino de Física e centradas na ideia de que o professor é sujeito mediador e os educandos sujeitos centrais e ativos na construção do conhecimento científico. Isso torna a aprendizagem de conceitos e fenômenos físicos mais aprazíveis e significativas aos educandos, de forma abrangente, crítica e reflexiva, fomentando o desenvolvimento de competências e habilidades para que os mesmos possam estender essas aprendizagens às situações reais de leitura e escrita de mundo, conforme preconiza Brasil (1996; 2018a) em seus documentos normativos, LDB e BNCC, e Bahia (2022), com o DCRB.

Para que isso ocorra, é essencial que o professor "exorcize" o "espírito opressor" que há dentro dele e expanda sua mente, abrindo-se para novas perspectivas e possibilidades de apropriação de metodologias de ensino e aprendizagem ativas e contemporâneas à realidade dos educandos, conscientizando-se também da responsabilidade social em promover, estabelecer e manter uma relação pedagógica horizontalizada (sem hierarquias) no processo educativo, incentivando e implementando em suas práticas educativas o diálogo e a empatia com os educandos como principal recurso pedagógico para uma melhor relação em sala de aula (Freire, 1987; 2020; 2021; Delizoicov, 1987).

Para Delizoicov e Angotti (1990), Araújo (2021), Solino e Gehlem (2015), Angotti, Bastos e Mion (2001), Santos, Oliveira e Queiroz (2021), Munakata (2009), Oliveira *et al.* (2017), Ferreira e Santos (2017), Mion (1996), José e Darlon (2022), Delizoicov e Munchem (2012), Neves e Auth (2023), Bastos (1990; 1995), Auth *et al.* (1995) e Bazin (1977a), isso pode propiciar um melhor engajamento dos educandos nas atividades e aulas desenvolvidas, possibilitando momentos ímpares para uma compreensão mais aprofundada das fenomenologias presentes no mundo natural e tecnológico em que vivemos, seja por meio de descrições teóricas formais, a partir da compreensão das leis e teorias que as regem, ou pelo desenvolvimento de atividades lúdicas e/ou exposição de experimentos científicos interessantes. Dessa forma, segundo Freire (1987; 2021), o professor passa a ser uma figura de autoridade (não confundir com autoritarismo) no ambiente escolar por parte de seus educandos.

Nesse sentido, os PCN trazem uma concepção mais humanista acerca da visão da Física e que deve ser apresentada pelo professor aos educandos. Com isso, de acordo com Brasil (1999), a Física deve ser percebida, sobretudo, como uma construção histórica, uma atividade

social humana que surge da cultura e não ser percebida apenas como algo acabado que se resume a fórmulas matemáticas e conceitos puramente teóricos sem qualquer conexão com o contexto local dos educandos (Moreira, 2018a; Santos; Oliveira; Queiroz, 2021), uma vez que tal perspectiva conduz à compreensão de que os modelos explicativos na Física não são únicos nem finais, sendo sucedidos por outros ao longo do tempo, como ocorreu com a transição do modelo geocêntrico para o heliocêntrico ou a substituição da teoria do calórico pelo conceito de calor como energia, por exemplo.

O texto do DCRB (Bahia, 2022, p. 196) traz uma complementação aos PCN ao afirmar que *“A Física é, de fato, uma ciência de extrema importância para todos os avanços tecnológicos que aconteceram e acontecem no nosso mundo. Sua presença no cotidiano é muito ampla [...]”*. Portanto, é essencial um Ensino de Física humanizado e pautado em metodologias ativas de ensino e aprendizagem que sejam alinhadas com as demandas sociais contemporâneas. Dito isso, este documento pondera que devido a

Este novo paradigma social que se impõe, demandando uma nova forma de ensinar o componente curricular Física, é necessário e urgente frente ao que se apresenta socialmente. Para tanto, é essencial um ensino que não apenas sirva de instrumento para solucionar problemas diários relativos ao estudante e ao seu meio ambiente social, mas que tenha a função de abrir novos horizontes para se enxergar o mundo. Um ensino que pode estar interligado aos outros componentes da área de Ciências da Natureza, que contemple práticas e processos investigativos e que transmita conhecimentos conceituais dentro de uma contextualização social, cultural, ambiental e histórica. Para isso, faz-se necessário que os/as docentes possam comprometer-se abandonando metodologias descontextualizadas, a fim de realizar um novo fazer pedagógico, que interprete e dialogue com o contexto social do estudante (Bahia, 2022, p. 196).

Dessa forma, é essencial que os docentes se comprometam a abandonar as metodologias de ensino descontextualizadas e promovam um novo fazer pedagógico que dialogue com o contexto social dos educandos (Moreira, 2018a; Santos; Oliveira; Queiroz, 2021). Assim, o Ensino de Física pode ser um vetor resultante de transformação e ampliação da visão de mundo dos educandos. E isso é mencionado no DCRB quando diz que a

contextualização dos conhecimentos deve valorizar a aplicação dos conhecimentos na vida individual, nos projetos de vida, no mundo do trabalho, favorecendo o protagonismo dos/as estudantes no enfrentamento de questões sobre consumo, energia, segurança, meio ambiente, saúde, entre outros (Bahia, 2022, p. 196).

Conforme defendido por Freire (1987; 2020; 2021) e Stoltz (2012), é fundamental que os professores atuem de forma contextual e democrática, considerando a afetividade e a dialogicidade como requisitos essenciais. Isso implica em adotar uma abordagem educacional

humanista, embasada em teorias que promovam ações e decisões pedagógicas democráticas, em contraste com abordagens verticalizadas. Portanto, o conhecimento não deve ser transmitido, captado e decodificado, mas sim construído de forma colaborativa pelos sujeitos envolvidos no diálogo (Moreira, 2017; Santos; Oliveira; Queiroz, 2021; Becker, 2005).

No entanto, há outros obstáculos e desafios que são diariamente impostos aos professores de Física, como as más condições salariais, os péssimos e excessivamente burocráticos planos de carreira (isso quando existe!) na maioria das situações - sobretudo nas escolas públicas estaduais -, as péssimas infraestruturas do ambiente escolar na maioria das escolas, a falta de espaços de aprendizagens específicos, como laboratórios de Ciências/Física bem equipados, a sobrecarga horária semanal de trabalho, a superlotação das salas de aula, as condições socioeconômicas vulneráveis das famílias dos educandos, a falta de políticas públicas que fomentem à formação adequada e o aperfeiçoamento das práticas pedagógicas, a alta evasão dos cursos de LPF nas instituições de Ensino Superior, a falta de professores com formação específica para ministrar aulas de Física na Educação Básica, o foco excessivo em provas teóricas e exames vestibulares, o que Moreira (2018c, p. 92) chamou denominou sendo “*Teaching for Testing*” (ensino para testagem), a falta de embasamento lógico-matemático e de leitura, escrita e interpretação textual pela maioria dos educandos, entre outros (Moreira, 2017; 2018b; 2018c; Garrido Júnior *et al.*, 2017; Santos, Oliveira e Queiroz, 2021; Silva, 2019; Melo; Campos; Almeida, 2015; Schneiders; Melo; Gastaldo, 2016; Kochan; Stacheski, 2020).

As discussões feitas por Schneiders, Melo e Gastaldo (2016, p. 1), no que se refere a demanda por professores de Física devidamente formados nas escolas públicas brasileiras, trazem a informação de que

O Censo Escolar 2015 nos mostra enorme déficit de professores de Física na Educação Básica, e isto faz com que professores com outras formações ministrem aulas de Física. A Revista Educação em maio/2016 na edição 229, mostra em uma reportagem sobre o Censo Escolar da Educação Básica 2015 que foram divulgados oficialmente em março/2016 que mostram que 38,7% dos 518.313 professores de escolas públicas do nosso país não têm formação na disciplina em que dão aulas. Considerando que, em alguns casos, um mesmo professor dá aulas em mais de uma disciplina para a qual não tem licenciatura, o número dos docentes que lecionam com formação inadequada salta para 374.829, o que equivale a 52,8% das 709.546 posições ocupadas por professores. Além disso, 12,7% dessas posições são preenchidas por docentes que não têm curso superior (Schneiders; Melo; Gastaldo, 2016, p. 1).

Essa situação é agravada também devido à alta taxa de evasão nos cursos de LPF, o que resulta em um número reduzido de licenciados para suprir a demanda nas escolas (Santos; Oliveira; Queiroz, 2021; Kochan; Stacheski, 2020).

Para Moraes (2009), no que tange ao embasamento deficitário em Matemática por parte dos educandos do EF que chegam ao EM e têm o primeiro contato com a Física, muitos pesquisadores atribuem o fracasso a uma má aprendizagem em interpretação textual e resolução lógico-matemática de situações-problemas e consideram esses fatores como a principal causa do baixo desempenho dos educandos nas avaliações de Física.

Um trecho do artigo intitulado "O país reprovado em matemática" do jornal Estadão no final do ano de 2022 destaca dados importantes sobre a defasagem em Matemática, o que também impacta a aprendizagem em Física, já que sua linguagem é matemática, conforme afirmava Galileu Galilei desde o século XVII. Isso induz a uma melhoria na abordagem de como a Matemática é ensinada, sobretudo, nas escolas públicas de EF do Brasil, repensando as práticas didático-metodológicas docentes entre outras condições que interferem no processo futuro de ensino-aprendizagem da Física, pois em um mundo com um cenário totalmente diferente de poucas décadas atrás, cheio de tecnologias acessíveis à maioria da população, inclusive dos educandos

[...] Já passou da hora de repensar o ensino de matemática nas escolas brasileiras. O cenário, infelizmente, é de terra arrasada. E ninguém se iluda: enquanto gerações de estudantes completarem a escola sem saber calcular sequer uma porcentagem, o Brasil não trilhará o caminho do desenvolvimento. Tal diagnóstico foi reforçado, nos últimos dias, por um levantamento que mostra que apenas 5% dos concluintes do ensino médio nas escolas públicas do País atingiram níveis adequados de aprendizagem de matemática em 2021. [...] o IEDE analisou edições anteriores do SAEB e chegou a resultados similares: em 2019, apenas 7% dos concluintes na rede pública tiveram desempenho adequado; em 2017, foram 5%. Ou seja, o problema não tem nada de conjuntural. É, na verdade, uma falha estrutural do sistema de ensino brasileiro (Estadão, 2022, online).

Com base nessas considerações, pode-se concluir que a defasagem nos conceitos e abstrações matemáticas na resolução de situações-problemas é uma das causas evidentes que impactam negativamente a aprendizagem da Física no EM e que também são refletidas por indicadores como o *Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB)*, ENEM e *Programme for International Student Assessment (PISA)*. Embora essa seja uma justificativa para o declínio no Ensino de Física na Educação Básica, é importante ressaltar que não é a única nem a principal causa.

Apesar dessa situação de falta de base matemática por parte dos educandos que chegam ao EM, a SBF se posicionou quanto à perspectiva da BNCC de Brasil (2018a) ao sugerir que a construção dos conhecimentos físicos deveria considerar tanto uma abordagem qualitativa e conceitual, conforme estabelece a LDB (Brasil, 1996), como também uma modelagem de fenômenos físicos acompanhada de raciocínio matemático, uma vez que, apesar de ser uma

ciência natural, possui linguagem formal puramente matemática, conforme afirma Carvalho e Sasseron (2018, p. 48) que “[...] no âmbito da Física, além da linguagem argumentativa, é importante considerar a linguagem matemática como um modo de comunicação essencial na construção de ideias e para a disseminação de conhecimentos”. Ou seja, a SBF defende que é essencial combinar uma compreensão qualitativa dos fenômenos físicos com uma análise quantitativa, fazendo uso dos objetos matemáticos para uma aprendizagem mais abrangente da Física, explicitando o papel da Matemática para o desenvolvimento de competências e habilidades e definir quais abordagens (qualitativa ou quantitativa) serão utilizadas nos objetivos de aprendizagem desse componente curricular.

Tokarnia (2023), repórter da Agência Brasil, aborda de forma geral sobre a situação da educação no EF no que tange à formação docente nos cursos de licenciaturas. A autora aborda em sua matéria online “Formação de professores é desafio no EF, diz pesquisa: saúde mental de educandos e docentes também aparece entre problemas” a importância da formação continuada para profissionais da Educação, não somente para professores, mas também para diretores escolares e coordenadores pedagógicos, no qual, dentre todas as instituições que participaram da pesquisa, um total de “49,2%, oferta aos professores formações uma vez a cada dois meses para docentes; 26,1%, uma vez a cada seis meses; e 6,8%, uma vez ao ano” (Tokarnia, 2023, online). Esses resultados destacaram a necessidade de alinhar essa formação aos desafios contemporâneos dos educandos no ambiente escolar.

A autora destaca que a formação continuada é crucial para que os profissionais desenvolvam novos conhecimentos ao longo da carreira e se mantenham atualizados em um mundo social de constantes mudanças. A pesquisa também identificou desafios como a falta de materiais pedagógicos adequados para implementar os conteúdos das formações em sala de aula, a frequência dos profissionais nas formações e a adesão dos mesmos a essas oportunidades de aprendizado, além de uma revisão e adaptação dos cursos de graduações em licenciaturas de acordo com a realidade atual da sociedade, de modo a torná-los profissionais ainda mais preparados para a realidade das escolas básicas brasileiras, sobretudo as da rede pública estadual de ensino, que sofrem com uma maior carência de profissionais atualizados.

A pesquisa também critica o atual e arcaico modelo conteudista e defende uma abordagem de ensino e aprendizagem que seja mais reflexiva e prática, conforme é estabelecido pelos documentos da BNCC e do DCRB (Brasil, 2018a; Bahia, 2022), destacando ainda que a prevalência dos cursos de licenciaturas na modalidade a distância pode distanciar os futuros professores da realidade das salas de aula, caso não haja experiências práticas previstas no currículo.

Com isso, diante da real necessidade de adaptação das práticas educativas com vistas a contornar esses obstáculos e superar esses desafios, ou ao menos ameniza-los ou reduzi-los, em prol de uma educação de qualidade para nossa sociedade, cabe ao professor buscar dar os primeiros passos para evoluir em suas abordagens pedagógicas e metodológicas e se manifestar e atuar politicamente em prol dessas melhorias, sobretudo no que tange a um plano de carreira digno e condizente com o alto nível de responsabilidade social da profissão do magistério da Educação Básica, à redução da carga horária semanal em sala de aula e do quantitativo de educandos por turma, além de incentivar a implementação de projetos estruturantes voltados às práticas e divulgações científicas nas escolas.

Cabe-nos, como humanos em sociedade, cobrar os políticos, sociedade e demais gestores das políticas públicas educacionais e demais órgãos e instituições públicas competentes, que a Educação deve ser um projeto básico de qualquer sociedade, sobretudo as emergentes, como o Brasil, e que requer alto comprometimento, seriedade e investimento de pessoas, tempo e dinheiro, e tentar mudar os olhares deles de que Educação é gasto e que, dentre todas as pastas governamentais, essa deveria ser a última a ser cogitada para cortes de recursos. Só assim os caminhos para se chegar à uma sociedade justa e igualitária poderá ser trilhado com eficácia.

Parafrazeando o pensador brasileiro Darcy Ribeiro, a Educação pública no Brasil é projetada para fracassar. E como bem dizia Freire (1987; 2021), esse é um projeto maligno gerido por uma classe dominante que oprime a liberdade de pensamento, ofusca sonhos e reduz oportunidades humanas com o intento de formar apenas mão-de-obra barata para inflar as demandas do mercado de trabalho com pessoas não questionadoras e que aceitam passivamente as condições impostas sem lutar por seus direitos humanos garantidos na CRFB de Brasil (1988) e na DUDH de Organização das Nações Unidas (1948). Ou seja, sufocam o "espírito" crítico dos educandos desde a EI até o EM para que eles não se formem sujeitos conscientes capazes de refletir abertamente sobre suas realidades de forma crítica, o que poderia causar neles o anseio de buscar mudanças políticas sociais em favor das classes trabalhadoras que põem em movimento da roda da economia, sustentando a sociedade em seus ombros. Isso causaria grande temor e desagradado por parte das classes dominantes egoístas, soberbas e exploradoras, cujas auto-identidades culturais se alinham às dos colonizadores europeus (Freire, 1987; 2020; 2021).

E diante dessa situação que vem se perpetuando ao longo de décadas, surge a proposta do *Novo Ensino Médio (NEM)*, que se trata de uma nova regulamentação para a etapa final da Educação Básica estabelecida pela BNCC apresentada em Brasil (2018a). Esse documento normativo veio para nortear a construção do currículo escolar a partir do contexto sócio-

histórico-cultural das escolas por meio do desenvolvimento de competências e habilidades humanas socioemocionais e científicas, a fim de abordar os conteúdos curriculares das disciplinas por áreas de conhecimento e de forma interdisciplinar e transdisciplinar, servindo de orientação para a melhoria da Educação e adequação das escolas às realidades contemporâneas dos educandos, buscando promover a formação integral dos mesmos, garantindo-lhes o pleno exercício da cidadania e o preparo para o mundo do trabalho. Esse é um dos pontos positivos da nova proposta. Portanto, o Ensino de Física, segundo Moreira (2017), Pietrocola (2001), Pernambuco (1981) e Bezerra *et al.* (2009), deve ser reelaborado de acordo com as demandas socioculturais, tecnológicas e econômicas atuais dos educandos.

Por outro lado, há o agravante da drástica redução da carga horária do componente curricular de Física, e de outros, para incluir disciplinas aleatórias sem conexão alguma com a prática diária educativa e à realidade local de cada escola, no qual não possuem materiais de apoio e cursos de aperfeiçoamentos para os professores, servindo apenas para atender às demandas do mercado de trabalho. Essa redução significativa de 06 (seis) para 04 (quatro) aulas no EM regular e de 05 (cinco) para 03 (três) aulas no EM profissionalizante (Bahia, 2022) da disciplina de Física, gerou um novo obstáculo aos professores que, como consequência para completarem suas cargas horárias semanais de aula, têm que pegar outras disciplinas que muitas das vezes fogem até mesmo de sua área de formação em CNT (Schneiders; Melo; Gastaldo, 2016; Kochan; Stacheski, 2020; Silva, 2019; Godoi, 2018; Bezerra *et al.*, 2009; Pires; Veit, 2006; Kochan; Stacheski, 2020; Rocha *et al.*, 2021). Além disso, essa redução implica em menos tempo para que os professores possam desenvolver atividades sequenciais didáticas mais aprimoradas e significativas, implicando até mesmo de forma negativa na preparação dos educandos para os exames vestibulares e *Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM)*, que é umas das políticas das escolas médias.

Até mesmo o renomado físico teórico estadunidense, Richard P. Feynman (1918 – 1988), professor do *California Institute of Technology (Caltech)* na cidade de Pasadena, nos Estados Unidos, agraciado com o Prêmio Nobel de Física em meados da década de 1960 por suas contribuições fundamentais no desenvolvimento da “Eletrodinâmica Quântica”, durante suas passagens pelo Brasil teceu inúmeros comentários e considerações durante suas palestras nas universidades brasileiras. Apesar de comentar predominantemente sobre o Ensino de Física nos cursos universitários, ele também proferiu palavras com críticas ao Ensino de Física no EM (Moreira, 2018a).

Moreira (2018a) descreve uma conferência de Feynman, no qual ele expressa sua preocupação com o Ensino de Física. Feynman, conhecido por sua forma apaixonada e didática

impecável de abordar a Física e a Ciência de uma forma geral, enfatiza que o Ensino de Física e Ciências não está atingindo seu potencial pleno e que os educandos não estão realmente aprendendo e que Ensino de Física não deve se limitar a definições e fórmulas matemáticas memorizadas, mas sim proporcionar aos educandos a oportunidade de entrar em contato com fenômenos naturais reais, seja por meio de práticas experimentais, simulações computacionais ou metodologias que centralize os mesmos no processo educativo, promovendo aos educandos investigarem fatos reais que ocorrem à sua volta, despertando sua curiosidade e encantamento diante dos mistérios da Natureza.

Moreira (2018a) destaca que a visão de Feynman a respeito do verdadeiro valor da Física reside em alimentar a curiosidade dos educandos e proporcionar o prazer de desvendar o desconhecido e que suas palavras são uma clara chamada à ação para que o Ensino de Física vá além das definições abstratas e das inúmeras fórmulas matemáticas memorizadas, estimulando a curiosidade e incentivando a investigação, a observação, e a interação direta com os fenômenos naturais, permitindo que os educandos se sintam parte da busca por desvendar os segredos da natureza, conforme preconizado por Delizoicov e Angotti (1990), Pozo e Crespo (2009), Carvalho (2018) e Bastos (1990).

Por fim, o Ensino de Física deve priorizar, como objetivo geral de sua prática educativa, antes de mais nada, o despertar da consciência dos educandos por meio de um ensino crítico e reflexivo adequado à época em que vivemos, selecionando e adaptando conteúdos curriculares. E para que isso ocorra, segundo Moreira (2017), é importante a criação de ambientes de aprendizagem mais interativos e contextualizados, onde os educandos possam explorar, aplicar e construir conhecimentos de maneira ativa e significativa consonantes com suas realidades, conforme estabelece Veiga (2004, *apud* Martins, 2012, p. 15) ao defender a tese de que “*O ensino exige a apreensão da realidade. Não se pensa o ensino desconectado de um contexto social mais amplo*”. Com isso, existem vários fatores que contribuem para a precarização do Ensino da Física na Educação Básica contemporânea, e muitos já foram comentados anteriormente.

Dessa forma, surge Bastos (1990) promovendo um Ensino de Física pautado no uso do que ele cunhou como “*Equipamentos Geradores*”, que é uma abordagem metodológica com bases nas ideias pedagógicas de Paulo Freire e que visa contextualizar o Ensino de Física a partir da manipulação e desmonte de equipamentos de uso cotidiano dos educandos, compreendendo os processos científicos por trás de seus funcionamentos de forma abrangente, crítica e reflexiva, levando em conta o contexto socio-histórico-cultural e político dos educandos, possibilitando que os mesmos consigam estender esses conhecimentos construídos

para serem aplicados em suas vivências de mundo, conforme Brasil (2018a) e Bahia (2022). Essa abordagem será comentada detalhadamente mais adiante.

Atrelado a isso, a dinâmica dos 3MP trazida por Delizoicov e Angotti (1990) surge como condutor metodológico de aplicação das sequências didáticas a serem desenvolvidas em sala de aula com os educandos. Os três momentos são distintos, porém articulados entre si. A saber, são eles: *Problematização Inicial (PI)*, *Organização do Conhecimento (OC)* e *Aplicação do Conhecimento (AC)*.

A PI é o momento de diálogo inicial com os educandos, a fim de identificar, a partir de suas falas, a melhor contextualização para estudo de uma problemática levantada a partir do estudo da realidade local, escolhendo quais conteúdos curriculares mais se adequam à situação identificada.

A OC consiste do momento de maior profundidade na busca pelos conhecimentos científicos que irão servir de subsídios teóricos e metodológicos para a resolução da problemática levantada durante a PI.

Por fim, a AC consiste da etapa em que os educandos retornarão à problemática levantada durante a PI de modo a respondê-la com argumentos embasados na Ciência e promovendo a intervenção de mundo.

Esses procedimentos metodológicos também possuem bases das ideias de Paulo Freire de uma "*educação dialógico-problematizadora*" e, por isso, se alinham perfeitamente com a abordagem promovida por Bastos (1990). Mais adiante eles também terão um maior detalhamento de suas fundamentações.

Portanto, juntas, ambas as abordagens metodológicas promovem um Ensino de Físico humanizado, contemporâneo, reflexivo e crítico a respeito do mundo que nos cerca, seja em dimensões puramente fenomenológicas naturais, ou em dimensões históricas, culturais, políticas e sociais, se contrapondo ao que Freire (1987; 2021) cunhou como sendo "*educação bancária*".

3.2 OS PRINCÍPIOS FILOSÓFICOS DA EDUCAÇÃO LIBERTADORA DE PAULO FREIRE

Paulo Freire, um renomado educador, filósofo e autor brasileiro, considerado um dos mais influentes pensadores na história da Pedagogia mundial. Ele é reconhecido por suas contribuições para a transformação social por meio da Educação e pela defesa de uma

abordagem humanista centrada no ser humano, em suas necessidades, desejos e potencialidades (Kohan, 2019; Côrtes, 2021).

Seu impacto vai além das fronteiras brasileiras, sendo um dos poucos autores brasileiros presentes nos 100 (cem) livros mais requisitados em universidades dos Estados Unidos. Ele também foi um dos principais influenciadores do movimento conhecido como Pedagogia Crítica, que busca promover a transformação social e a luta pelos direitos por meio da Educação (Kohan, 2019).

Desde 2012, Paulo Freire é reconhecido como o patrono da educação brasileira, em virtude de suas significativas contribuições para a pedagogia mundial. Deixou um legado importante por meio de suas obras, como "Pedagogia da Esperança", "Pedagogia da Autonomia", "Cartas à Guiné-Bissau" e sua obra mais conhecida, "Pedagogia do Oprimido". Além disso, ele recebeu uma série de honrarias ao longo de sua carreira, sendo o brasileiro mais homenageado da história com títulos de Doutor Honoris Causa, acumulando 48 (quarenta e oito) desses reconhecimentos concedidos por universidades, sendo 35 (trinta e cinco) de instituições de ensino superior estrangeiras. Sua contribuição para a promoção da paz e da educação também foi reconhecida internacionalmente, sendo indicado ao Prêmio Nobel da Paz em 1995 e recebendo o prêmio de Educação para a Paz da *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)* em 1986 (Kohan, 2019).

No início da década de 60, Paulo Freire, atuando como professor de Língua Portuguesa, implementou um método de alfabetização próprio na cidade de Angicos, localizada no interior do Rio Grande do Norte. Nessa experiência, ele obteve um sucesso extraordinário ao ensinar cerca de 300 (trezentos) trabalhadores rurais adultos, que eram cortadores de cana, a ler e escrever em apenas 45 (quarenta e cinco) dias. Esse feito foi alcançado utilizando o “*conhecimento prévio*” (Freire, 1987) que essas pessoas já possuíam a partir de suas vivências (Kohan, 2019).

A filosofia pedagógica de Paulo Freire está profundamente conectada com a realidade cotidiana dos educandos e com as experiências que eles vivenciam. Seu método é baseado no diálogo entre professor e educando, buscando transformar este em um aprendiz ativo no processo de ensino-aprendizagem. Sua abordagem não se limita apenas a um método, mas representa um modo de promover a democracia dentro da sala de aula e além dela (Freire, 2021).

Como um pensador ativo, crítico e reflexivo sobre a Educação de seu tempo, Freire (1987; 2019) apresentou duras críticas ao método tradicional de ensino, no qual o professor era considerado o detentor absoluto do conhecimento a ser transmitido, enquanto o educando

desempenhava um papel passivo nesse processo, sendo apenas um "receptor" desse conhecimento.

Segundo Kohan (2019) e Côrtes (2021), Paulo Freire cunhou esse modelo como "*educação bancária*" em sua obra "Pedagogia do Oprimido", publicada pela primeira vez em 1987. Essa obra propõe um método de alfabetização dialético e é reconhecida como a terceira obra mais citada em trabalhos acadêmicos na área de humanas em todo o mundo, superando clássicos como "Vigiar e Punir", de Michel Foucault (1926 – 1985), e "O Capital", de Karl Marx (1818 – 1883).

Côrtes (2021) destaca o pensamento de Freire (1987) acerca da importância de não se adotar uma posição neutra diante da história da Humanidade, pois a neutralidade muitas vezes já reflete uma predisposição ou uma inclinação ideológica. E para ilustrar a busca por uma Educação comprometida com a libertação e a transformação social, a autora faz menção a Antonio Gramsci (1891 – 1937), um escritor e filósofo marxista italiano, que também não aceitava a apatia da neutralidade.

Côrtes (2021) também menciona a "Práxis Libertadora" ou "*Pedagogia da Libertação (PL)*", que é uma abordagem educacional baseada na reflexão crítica sobre a realidade e na busca por uma prática que promova a emancipação e a liberdade. Essa ideia é associada ao pensamento de Freire (1987; 2019; 2020), que possui fortes influências em Marx, um filósofo e economista alemão cujas ideias fundamentaram o pensamento socialista/comunista, e que enfatizava a importância do trabalho na construção da sociedade e na luta por mudanças sociais.

Outras referências mencionadas por Côrtes (2021) incluem Frantz Fanon (1925 – 1961), um pensador e psiquiatra martinicano (França), cujos escritos abordaram questões de colonialismo, racismo e libertação; e Albert Memmi (1920 – 2020), um escritor e ensaísta tunisiano-francês que discutiu temas relacionados à colonização e ao colonialismo.

Ao trazer essas referências, Côrtes (2021) sugere que o trabalho crítico-reflexivo na Educação se apoia em uma base sólida de pensadores que abordaram questões sociais, políticas e filosóficas relevantes para a compreensão do mundo e para a luta por uma sociedade mais justa e libertadora.

Segundo Freire (1987; 2019; 2020; 2021), a metodologia tradicional de ensino desempenha um papel crucial no sistema que busca restringir o pensamento crítico e reflexivo dos indivíduos, convertendo os educandos em meros receptores passivos de conhecimento. Ele compara esse sistema a um "capitão do mato" que limita a liberdade (criatividade) das pessoas, forçando-as a se conformarem com o mundo opressivo do capitalismo.

Em sua obra "Educação como Prática da Liberdade", Freire (2019) critica essa Educação engessada e mecanicista, baseada na transmissão passiva de informações e conhecimentos pré-estabelecidos. Ele propôs uma pedagogia crítica que estimulasse o pensamento crítico e a reflexão sobre a realidade social, em que defendia a argumentação de que a Educação não pode ser neutra e deve ter como objetivo a transformação social por meio do rompimento das estruturas e correntes impostas pelas classes dominantes. Nesse sentido, a Educação deve ser uma prática política, voltada para a conscientização, capaz de romper com a alienação e a opressão, permitindo que as pessoas se tornem agentes ativos de sua própria história e contribuam para a construção de uma sociedade mais justa e igualitária.

O impacto do trabalho de Paulo Freire foi tão revolucionário que influenciou o movimento conhecido como "Matemática Radical" nos Estados Unidos da América. Esse movimento enfatiza a justiça social e a pedagogia crítica como componentes essenciais dos currículos de Matemática (Kohan, 2019).

Além disso, devido à sua experiência na alfabetização de adultos, o legado de Freire se tornou um manifesto educacional político, no qual tanto os professores quanto os educandos devem estar cientes das questões políticas que envolvem a educação. Isso significa que a forma como os educandos são ensinados e o que lhes é ensinado serve a uma agenda política específica, o que influencia a maneira como eles percebem a realidade social ao seu redor (Kohan, 2019).

Freire (1987) defendia uma Educação que estimulasse a capacidade crítica do educando e ressaltou que essa Educação é libertadora, e, acima de tudo, um ato político. Ele acreditava que por meio da conscientização crítica, transformadora e diferenciada, os indivíduos seriam libertados das restrições do sistema capitalista opressor. Afinal, a liberdade só é alcançada a partir da conquista, conforme Martin Luther King (1929 – 1968) afirmou em seu discurso proferido em Birmingham, Alabama, em 16 de abril de 1963 (Carson; Shepard, 2006, p. 36) "*A liberdade nunca é voluntariamente concedida pelo opressor. Ela precisa ser exigida pelo oprimido*". Essa fala evidencia como a educação crítica é uma arma poderosa em prol da liberdade.

Embora Paulo Freire utilize termos como "opressor" e "oprimido" e faça referências a líderes socialistas e críticas ao capitalismo, e apesar de suas filosofias estarem relacionadas ao pensamento marxista, ele também critica os regimes socialistas autoritários que violam a liberdade e a democracia.

Freire (1987) defendeu uma abordagem humanística da Educação, na qual, como elemento fundamental para a promoção dos Direitos Humanos, deve permitir que os oprimidos

recuperem sua humanidade, identidade e dignidade, e, ao tomar consciência de sua condição, possam superá-la. No entanto, ele reconhece que para que isso aconteça, o indivíduo oprimido deve desempenhar um papel em sua própria libertação, ou seja, deve expulsar o opressor que está internalizado nele e que foi implantado através da romantização da exploração consumista e materialista do capitalismo.

É notável o espírito emergente e propagador de libertação que permeia as ideias de Paulo Freire, o que o tornou um educador consagrado e o patrono da Educação brasileira. E vale ressaltar que, no que tange à Educação para a o respeito e conscientização dos Direitos Humanos, um dos maiores ativistas e líderes políticos do mundo, Malcom X (1925 – 1965), proferiu que

A educação é um elemento importante na luta pelos direitos humanos. É o meio para ajudar os nossos filhos e as pessoas a redescobrirem a sua identidade e, assim, aumentar o seu autorespeito. Educação é o nosso passaporte para o futuro, pois o amanhã só pertence ao povo que prepara o hoje (Breitman, 2021, p. 187).

O que se nota é um espírito em comum em todas as pessoas que estão voltadas para a mudança social em prol dos oprimidos pelo sistema banqueiro-empresarial. Paulo Freire, Malcom X, Martin Luther King, entre outros grandes pensadores dos séculos XX e XXI, se convergem em uma ideia que representa o núcleo central da ideologia humana: a promoção de uma sociedade verdadeiramente justa. E isso só é possível de se alcançar um dia por meio de uma Educação emancipatória da consciência do indivíduo. Portanto, o objetivo de Paulo Freire era justamente que o professor não fosse uma figura de superioridade na sala de aula, a ser temida pelos educandos, mas sim um professor cujo método promovesse a abertura de espaço para que os educandos pensassem por si próprios e refletissem criticamente sobre a realidade, especialmente a realidade na qual eles estão inseridos, em vez de aceitar passivamente o que o professor diz como uma verdade única e absoluta.

Nesse sentido, Paulo Freire destaca em sua obra “Pedagogia da Autonomia” que a relação entre professor e educando não deve ser um obstáculo para uma dinâmica de sala de aula saudável. Sua filosofia busca combater o autoritarismo que alguns professores utilizam em suas aulas, assim como as estratégias disciplinares baseadas em ameaças e medo. Conforme ele mesmo expressou

O professor que desrespeita a curiosidade do educando, [...] que ironiza o aluno, que o minimiza, que manda que ele ‘se ponha em seu lugar’ ao mais tênue sinal de sua rebeldia legítima, tanto quanto o professor que se exime do cumprimento de seu dever

de propor limites à liberdade do aluno, que se furta ao dever de ensinar, [...] transgride os princípios fundamentalmente éticos de nossa existência (Freire, 2021, p. 24).

Em sua obra “Pedagogia do Oprimido”, Freire (1987) abordou a existência da "cultura do silêncio", um fenômeno no qual os oprimidos são submetidos a uma autoimagem negativa, silenciada e reprimida pelo sistema dominante de relações sociais, especialmente por meio do modelo tradicional de ensino que é tão presente ainda nos dias de hoje, em pleno século XXI. Para ele, a cultura do silêncio foi criada com o propósito de oprimir os indivíduos, negando-lhes a oportunidade de desenvolver uma consciência crítica e de questionar as estruturas opressoras. E para resistir a esse processo, o educando precisa adquirir uma consciência crítica que o permita se libertar e perceber que a cultura do silêncio é uma ferramenta utilizada exclusivamente para oprimir.

Freire (1987) destaca que a dominação social baseada em raça e classe está profundamente enraizada no sistema de ensino tradicional, no qual a cultura do silêncio atua para bloquear caminhos de pensamento que levam a uma linguagem crítica.

Na perspectiva da Práxis pedagógica transformadora, que se baseia na ação-reflexão-ação, o sujeito é incentivado a reavaliar suas ações por meio da reflexão e, posteriormente, a agir de forma modificada. Nesse contexto, a Educação é considerada uma política sociocultural com um compromisso ético voltado para a emancipação do sujeito (Freire, 2021).

Dito isso, buscando promover a liberdade e o desenvolvimento humano, social e coletivo, e almejando a construção de uma sociedade harmoniosa e não exploradora, é compreendido que

Há perguntas a serem feitas insistentemente por todos nós e que nos fazem ver a impossibilidade de estudar por estudar. De estudar descomprometidamente como se misteriosamente de repente nada tivéssemos que ver com o mundo, um lá fora e distante mundo, alheado de nós e nós dele. Em favor de que estudo? Em favor de quem? Contra que estudo? Contra quem estudo? (Freire, 2021, p. 75).

Freire (2021) ressaltou a ausência de neutralidade na Ciência e na Educação, segundo sua filosofia humanista. Ele argumentou que tanto a prática educacional quanto a própria ciência são desprovidas de neutralidade, possuindo sempre uma intenção política e ideológica, podendo estar a serviço da humanização ou da manutenção de sistemas opressivos.

Em sua obra mais proeminente, Freire (1987) denuncia a reprodução social por meio do currículo escolar convencional, que ele chama de "educação bancária", descrevendo-o como um sistema educacional tradicional que serve à estrutura social opressora das elites dominantes, conforme pode ser constatado ao perceber que “*Marx defendia a tese de que as ideias, os*

valores e os princípios morais predominantes na sociedade são produzidos pelos poderosos e destinam-se a controlar o indivíduo para ajudar a garantir uma submissão “espontânea”” (1996, *apud* Michaliszyn, 2012, p. 35). Porém, ao invés disso, Freire (1987; 2021) propôs uma Educação libertadora que esteja comprometida com a formação do sujeito e sua emancipação. Diante disso, ele defendeu a importância de uma Educação libertadora que possuísse um compromisso ético e social com a emancipação do sujeito, em contraposição a uma Educação tradicional adaptativa que perpetua uma realidade injusta e desumana à qual o sujeito é subjugado.

Segundo Freire (1987), o conhecimento não deve ser tratado como uma simples transação bancária na qual o professor deposita informações no educando, para depois retirá-las por meio de uma avaliação teórica escrita. Ele argumentou que a Educação vai além disso e deve ser abordada com seriedade, compromisso e afetividade, com professor e educando ocupando papéis centrais nesse processo.

Conforme mencionado por Freire (2021, p. 18) *“nas condições de verdadeira aprendizagem os educandos vão se transformando em reais sujeitos da construção e da reconstrução do saber ensinado, ao lado do educador, igualmente sujeito do processo”*. Isso reflete o reconhecimento da grande relevância social que o professor tem na sociedade, visto que cabe a ele formar os indivíduos que nela convivem.

A abordagem proposta por Freire (1987; 2021) tem como ponto de partida o estudo da realidade, por meio do diálogo com os educandos, e a organização dos dados obtidos pelo professor, de forma a promover uma metodologia dialógica, em que cada educando ou grupo envolvido na ação educativa já possui, mesmo que de forma rudimentar, conhecimentos essenciais a partir dos quais se pode partir. Com isso, o principal objetivo de suas concepções pedagógicas é causar um despertar nos educandos e uma nova forma de se relacionar com suas experiências vividas, em contraposição ao modelo da "educação bancária", que acaba sendo um mecanismo de opressão social e intelectual por parte de uma sociedade desigual e conservadora, na qual as elites exercem poder e influência criando a ilusão amarga nos educandos de uma mera transferência de conhecimentos. Essa sociedade dominante também tende a enxergar o trabalho de forma mercadológica e não humanizada.

Quando a estruturação dos conteúdos escolares ocorre fora do contexto sócio-histórico-cultural dos educandos, isso é considerado uma "invasão cultural" ou um "depósito de informações", pois não emerge do saber popular (Freire, 1987). Portanto, é essencial conhecer o educando e a realidade que o cerca antes de tudo, pois é desse contexto que surgirão os conteúdos a serem trabalhados.

Conforme Solino e Gehlen (2015) argumenta, é no processo de conscientização da realidade do educando e na abertura democrática ao diálogo que surgem as problematizações das práticas de vida dos por eles, dando origem aos "temas geradores" propostos por Freire (1987).

Durante um longo período, sobretudo nos dias atuais, é evidente a resistência de muitos professores de Física em alterar suas abordagens metodológicas de ensino, optando por manter uma postura estática em sala de aula, mesmo diante da necessidade de dinamismo e democracia. Além disso, a profissão docente é frequentemente desvalorizada, com salários inadequados para a enorme responsabilidade social que os professores carregam em relação ao progresso da sociedade.

Muitos professores também enfrentam a falta de um plano de carreira adequado. Os cortes de verbas governamentais na área da Educação também representam um obstáculo ao progresso educacional. Esses fatores acabam desestimulando os professores, levando alguns a abandonarem a profissão ou a ficarem estagnados em relação ao aprimoramento de novas metodologias de ensino.

Freire (2021) abordou de forma contundente essa questão, enfatizando a importância de superar tais obstáculos, elucidando muito bem ao bater forte nessa tecla ao dizer que

A responsabilidade do professor, de que às vezes não damos conta, é sempre grande. [...] Se há algo que os educandos brasileiros precisam saber, desde a mais tenra idade, é que a luta em favor do respeito aos educandos e à educação inclui que a briga por salários menos imorais é um dever irrecusável e não só um direito deles. A luta dos professores em defesa de seus direitos e de sua dignidade deve ser entendida como um momento importante de sua prática docente, enquanto prática ética. Não é algo que vem de fora da atividade docente, mas algo que dela faz parte. [...] Um dos piores males que o poder público vem fazendo a nós, no Brasil, historicamente, desde que a sociedade brasileira foi criada, é o de fazer muitos de nós correr o risco de, a custo de tanto descaso pela educação pública, existencialmente cansados, cair no indiferentismo fatalistamente cínico que leva ao cruzamento dos braços. “Não há o que fazer” é o discurso acomodado que não podemos aceitar (Freire, 2021, p. 64-65).

A partir da visão de Paulo Freire, fica evidente o compromisso ético, político e ideológico que os professores têm ao desempenhar seu papel educacional. No entanto, para que isso aconteça, é necessário contar com condições favoráveis, como a valorização profissional por meio de salários e planos de carreira condizentes, melhores condições de trabalho e um ambiente de ensino adequado às necessidades diversificadas da sociedade.

Segundo Freire (2021), é fundamental adotar metodologias mais dinâmicas e democráticas que permitam ao professor abrir espaço para questionamentos, curiosidade ingênua dos educandos, perguntas feitas por eles e suas inibições, favorecendo a liberdade dos

educandos para expressar suas dúvidas, opiniões, questionamentos e críticas durante o processo de aprendizagem de determinados conteúdos. Em outras palavras

A resistência do professor, por exemplo, em respeitar a “leitura de mundo” com que o educando chega à escola, obviamente condicionada por sua cultura de classe e revelada em sua linguagem, também de classe, se constitui um obstáculo à sua experiência de conhecimento. [...] Respeitar a leitura de mundo do educando significa toma-la como ponto de partida para a compreensão do papel da curiosidade [...] como um dos impulsos fundamentais da produção do conhecimento (Freire, 2021, p. 119-120).

Em obras como as de Freire (1987; 2021), encontramos diversos princípios filosóficos que são fundamentais para uma abordagem educacional humanista e que podem ser destacados a seguir por:

- *Educar é ter respeito aos saberes prévios dos educandos;*
- *A leitura de mundo precede a leitura da palavra;*
- *Ensinar não é transferir conhecimento;*
- *Todo sujeito possui/produz conhecimento;*
- *Educandos e professor são igualmente sujeitos centrais do processo de ensino-aprendizagem;*
- *O conhecimento é uma construção histórica, social e coletiva;*
- *Ensinar exige responsabilidade, criticidade, ética e competência;*
- *Os educandos não devem ser tratados como “potes vazios”;*
- *Educar é uma forma de intervenção no mundo;*
- *Ensinar exige participação democrática e dialógica;*
- *Não há docência sem discência e vice-versa;*
- *Educar é uma prática libertadora;*
- *Educar requer propiciar autonomia ao educando, pois o mesmo é protagonista de sua aprendizagem;*
- *Ensinar é uma especificidade humana;*
- *Ensinar requer paciência em saber ouvir o educando;*
- *Educar é um ato político e ideológico;*
- *Educar é promover a emancipação do educando para a transformação social;*
- *Quem ensina aprende ao ensinar e quem aprende ensina ao aprender;*

- *Os saberes curriculares fundamentais aos educandos devem ser alinhados com a experiência social que eles têm como indivíduos;*
- *Ensinar exige o respeito a pluralidade social;*
- *O professor deve ser valorizado.*

Isso nos leva a considerar que o processo de ensino-aprendizagem é uma via de comunicação bidirecional, na qual professor e educando dialogam de forma igualitária, empática e fraternal, com o objetivo de despertar no educando um espírito crítico e promover sua autonomia na aprendizagem (Delizoicov, 1983; Araújo, 2021; Freire, 2021).

Com isso, por meio dessa dialogicidade no processo de ensino e aprendizagem, é importante valorizar os saberes prévios adquiridos pelos educandos ao longo de suas vidas, sem desconsiderar o que Paulo Freire chamou de "curiosidade epistemológica", ou seja, a curiosidade ingênua que traz consigo um conhecimento baseado na experiência comunitária, porém sem abrir mão de uma abordagem metodológica rigorosa. Dessa forma, tanto o educando quanto o educador são beneficiados nessa relação, ocupando igualmente as posições de sujeitos reais no processo de construção e reconstrução do conhecimento.

Os princípios filosóficos da PL de Paulo Freire têm uma enorme importância para a educação contemporânea, pois, em essência, a pedagogia freiriana preconiza a relação pedagógica horizontalizada, estabelecendo uma relação de igualdade e respeito mútuo entre o educador e os educandos (Freire, 1987; 2021). Nessa abordagem, valoriza-se a troca de conhecimentos, experiências e perspectivas entre professores e educandos, em vez de uma relação hierárquica verticalizada.

A relação pedagógica horizontal incentiva a participação ativa dos educandos na construção do seu próprio conhecimento científico e no processo educativo como um todo (Freire, 1987). Além disso, a transformação social é outro princípio fundamental da pedagogia libertadora de Freire, haja vistas que ele acreditava que a Educação deveria ser uma prática transformadora, contribuindo para a construção de uma sociedade mais justa e igualitária. Para isso, o educador deveria estimular a ação política dos educandos e o engajamento em movimentos sociais (Freire, 2019).

Dessa forma, os princípios filosóficos da PL de Paulo Freire promovem um ensino mais humanizado, crítico e reflexivo, levando em consideração a realidade dos educandos e buscando a construção de uma sociedade mais justa e igualitária. E em um mundo em constante evolução, a prática docente deve seguir o mesmo ritmo. Portanto, um ensino centrado na democratização do processo de aprendizagem é essencial para uma interação mais efetiva.

Por fim, a prática educativa proposta por Paulo Freire visa levantar a bandeira de que o professor educador, antes de mais nada, deve possuir consciência de classe, responsabilidade social de um compromisso com o povo, pois só assim estará apto de fato a proporcionar aos educandos e à sociedade uma Educação que seja libertadora das correntes da opressão impostas pelo imperialismo das classes sociais dominantes. Feito isso, o progresso social levará à uma sociedade mais justa com todas as classes menos favorecidas, sobretudo a classe trabalhadora.

3.3 O ENSINO DE FÍSICA SOB A PERSPECTIVA DA EDUCAÇÃO DIALÓGICO-PROBLEMATIZADORA

O ensino das consideradas Ciências Naturais, em especial aquelas voltadas para o campo das exatas, há décadas vem sendo um enorme desafio nas escolas de ensino básico ao redor do mundo (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021), sobretudo pela forma arcaica com que esse processo ocorre. Mais precisamente no que tange ao Ensino de Física, que além de abranger um arcabouço teórico matemático em demasia, necessita de uma compreensão filosófica a respeito dos fenômenos físicos presentes na natureza associados ao cotidiano dos educandos (Moreira, 2018a; Moreira, 2018b).

Com o objetivo de utilizar o Ensino de Física para formar cidadãos reflexivos e críticos diante dos cenários contemporâneos, é imprescindível expurgar o modelo tradicional de ensino centrado na hierarquização do conhecimento e na transmissão passiva do mesmo aos educandos. Desse modo, cabe-nos a refletir e reavaliar a forma como a Física é ensinada, a fim de tornar relevante e conectada com as realidades dos educandos (Moreira, 2018b; 2018c; Araújo, 2021). Com isso, os princípios filosóficos da educação dialógico-problematizadora de Paulo Freire emergem como uma roupagem essencial para tornar o Ensino de Física mais significativo e transformador (Moreira, 2018a).

A forma tradicional como são ensinados os conteúdos de Física nas escolas básicas é ultrapassada e ineficiente do ponto de vista pedagógico (Pozo; Crespo, 2009; Brasil, 1999). E em relação a esse tipo de abordagem educacional a pedagogia freiriana destaca que os educandos são considerados como potes vazios que estão no ambiente escolar para adquirir conhecimentos por intermédio da figura do professor, que historicamente na sociedade é visto como o detentor único do saber a ser transferido aos educandos. Contudo o professor deve permitir ao educando o acesso a possibilidades para que ele possa participar ativa e democraticamente do seu processo de aprendizagem, de forma autônoma, durante a construção

e reconstrução do conhecimento, pois o ato de educar não se resume a “*transferir conhecimentos*” (Freire, 2021).

No contexto social atual, é crucial que os cidadãos desenvolvam análise crítica e reflexão a partir de um Ensino de Física humanizado. Quando os educandos percebem a aplicabilidade dos conteúdos escolares em suas vidas cotidianas, eles podem tomar decisões mais conscientes, reflexivas e embasadas em conhecimentos científicos. Um currículo escolar que se conecta com a realidade da comunidade pode promover uma aprendizagem significativa (Pernambuco, 1981).

Para isso, é essencial que o professor de Física repense sua postura pedagógica em relação à comunidade. Para isso, o primeiro passo consiste em observar e problematizar a região onde a escola está inserida, identificando os problemas existentes e emergentes oriundos da realidade local (Pernambuco, 1981; Delizoicov, 1982). Portanto, é importante levar os educandos para conhecer os problemas locais identificados. O segundo passo consiste em organizar os conhecimentos curriculares de Física a partir desses problemas identificados, buscando construir argumentos que, com base no currículo escolar, expliquem e abordem essas questões locais, promovendo possíveis soluções temporárias ou definitivas para essas questões (Abreu; Freitas, 2017; Delizoicov, 1982; Araújo, 2021; Pernambuco, 1981). Essa abordagem de um Ensino de Física conectado à realidade dos educandos, tendo como bases os princípios filosóficos da educação dialógico-problematizadora de Paulo Freire, promove uma aprendizagem mais relevante e significativa aos educandos.

Com isso, os PCN, por exemplo, consideram que para uma maior efetividade da aprendizagem dos fenômenos físicos por parte dos educandos, o professor do componente curricular Física deve levar em consideração e mostrar aos educandos que

[...] o aprendizado da Física promove a articulação de toda uma visão de mundo, de uma compreensão dinâmica do universo, mais ampla do que nosso entorno material imediato, capaz portanto de transcender nossos limites temporais e espaciais. Assim, ao lado de um caráter mais prático, a Física revela também uma dimensão filosófica, com uma beleza e importância que não devem ser subestimadas no processo educativo. Para que esses objetivos se transformem em linhas orientadoras para a organização do ensino de Física no Ensino Médio, é indispensável traduzi-los em termos de competências e habilidades, superando a prática tradicional (Brasil, 1999, p. 22).

Logo, o Ensino de Física no EM deve ir além do simples aprendizado de fórmulas matemáticas e conceitos, buscando promover uma compreensão mais profunda e abrangente do universo e do mundo em que vivemos.

Ao integrar uma visão filosófica e contextualizada, a disciplina de Física pode despertar o encantamento e a curiosidade dos educandos, possibilitando uma conexão significativa com o conhecimento científico. Portanto, ao reconhecer a riqueza e a importância tanto do aspecto prático quanto da dimensão filosófica da Física, os educadores podem proporcionar aos educandos uma experiência educacional mais significativa, capaz de transformar a maneira como percebem e interagem com o universo ao seu redor.

Segundo Brasil (1999), espera-se que o Ensino de Física na escola média contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, permitindo ao indivíduo interpretar fatos, fenômenos e processos naturais, compreendendo a interação do ser humano com a natureza como parte dela mesma em constante transformação e em prol da libertação das amarras impostas há séculos pelas classes dominantes.

A liberdade surge a partir do despertar da consciência. E isso só se dá por meio de uma Educação democrática, em que o educando e o professor são igualmente sujeitos protagonistas de um processo maior, que é a Educação para a autonomia e a liberdade dos sujeitos envolvidos nesse processo educativo e dialógico. Isso implica em um cidadão mais consciente e decisivo em suas escolhas, sobretudo porque

A autonomia, enquanto amadurecimento do ser para si, é processo, é vir e ver. [...] É neste sentido que uma pedagogia da autonomia tem de estar centrada em experiências estimuladoras da decisão e da responsabilidade, vale dizer, em experiências respeitadas da liberdade (Freire, 2021, p. 105).

E para isso, é necessário que o professor e a escola se coloquem no dever de respeitar os saberes com que os educandos adquirem através da prática comunitária das vivências sociais (Freire, 2021).

Para tal, de acordo com Delizoicov (1987) e Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2021), o diálogo no Ensino de Física é essencial no processo para obter o conhecimento vulgar dos educandos. Mas não se trata apenas em saber de sua existência, e sim para trabalhar este conhecimento vulgar durante o processo educativo.

E o conhecimento já construído pelo educando, devido sua inserção no meio histórico-sócio-cultural em que se encontra, uma vez conhecido pelo professor, pode ser problematizado de modo a aguçar as contradições e localizar as limitações desse conhecimento, quando confrontado com o conhecimento científico, na finalidade de propiciar ao educando um distanciamento crítico do conhecimento prévio que possui (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021). Da mesma forma, pode-se afirmar que

Busca-se a desestabilização das afirmações dos alunos. É a desestruturação das explicações contidas no conhecimento de senso comum dos alunos que se pretende inicialmente, para logo após formular problemas que possam leva-los à compreensão de outro conhecimento, distantemente estruturado. Entre outras possibilidades de estabelecer uma dinâmica de atuação docente em sala de aula que contemple os aspectos aqui apresentados, a seguinte, que tem feito parte de algumas iniciativas educacionais, é formada como opção. Ela é caracterizada pelo que tem sido denominado de momentos pedagógicos [...] (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021, p. 155).

Para alcançar esse objetivo, é fundamental apresentar o conhecimento físico como um processo histórico em evolução, conectado a outras formas de expressão e produção humanas. Além disso, essa cultura em Física deve abranger a compreensão dos equipamentos e procedimentos técnicos ou tecnológicos presentes no cotidiano doméstico, social e profissional.

Segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2021), Araújo (2021), Delizoicov (1982), Abreu e Freitas (2017) e Solino e Gehlen (2015), a pedagogia freiriana propõe um processo de codificação-problematização-descodificação para estruturar a dinâmica da interação entre professor e educandos no ambiente de sala de aula durante o processo de ensino e aprendizagem em Física. Para isso, faz-se necessário que o professor instigue e respeite a curiosidade epistemológica do educando, ou seja, sua curiosidade ingênua de onde nasce um certo saber não rigoroso que caracteriza o senso comum.

Segundo Solino e Gehlen (2015), o Ensino de Física, assim como outras disciplinas de todas as áreas do conhecimento, deve ser conduzido de forma problematizadora, estimulando questionamentos e desafios aos educandos. Para as autoras, o ponto central da educação dialógico-problematizadora é que o objeto de conhecimento, ou conteúdo curricular a ser estudado, seja objeto de reflexão para os educandos em suas relações com o mundo.

A abordagem dialógico-problematizadora ganha ainda mais importância diante da crise do Ensino de Física no Brasil, que é caracterizada pela desatualização dos conteúdos curriculares com as tecnologias, a centralização no professor como detentor de todo o saber a ser ensinado e a visão estagnada da Física como uma ciência prontamente acabada (Moreira, 2017; 2018c; Solino; Gehlen, 2015; Araújo; Andrade, 2021). E com isso, um Ensino de Física pautado na perspectiva filosófica da educação dialógico-problematizadora pode desempenhar um papel significativo na formação de indivíduos críticos, reflexivos e adaptáveis a um mundo em constante transformação (Moreira, 2017; 2018c; Santos; Oliveira; Queiroz, 2021; Solino; Gehlen, 2015; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021).

Para isso, é essencial que os profissionais da área estejam atualizados e engajados em práticas inovadoras e participativas, considerando as demandas e desafios do século XXI (Araújo; Andrade, 2021). Além do mais, é essencial o estímulo dos educandos para que façam

questionamentos, durante as aulas, pois a prática da dialogicidade é essencial para a prática educativa (Freire, 1987; 2021; Zabala, 2010). Portanto, para ter sucesso em suas práticas docentes humanizadas no Ensino de Física, o professor deve

[...] ensinar os alunos a argumentar, o professor precisa fazer o aluno falar. Sabemos que as participações dos alunos nas aulas não acontecem espontaneamente, muito menos intervenções em que os alunos mostrem com suas próprias palavras o seu raciocínio argumentativo. Normalmente essas participações são repetições das palavras, das ideias e do raciocínio do próprio professor. Perguntas, quando existem, refletem menos as dúvidas sobre o tema em discussão e mais o não entendimento da linguagem do professor. E essa participação intelectualmente pobre dos alunos em sala de aula não é um problema somente brasileiro. [...] durante os primeiros anos escolares os alunos trazem muitas questões, mas essas não são questões científicas, e em vez de aprenderem a propor questões científicas, simplesmente deixam de perguntar. [...] Para fazer os alunos falarem é preciso uma interação construtiva entre o professor e o aluno, e para isso é necessário que o professor pergunte, e perguntas relacionadas com o conteúdo, muito além de “você está entendendo?” ou “alguém tem alguma dúvida?”. Para que apareçam argumentações dos alunos em sala de aula, a prática do professor deve considerar já em seu planejamento a possibilidade de interações dos alunos com o conhecimento, criando ambientes não coercitivos nos quais os alunos possam apresentar sem medo seus argumentos, estejam esses corretos ou não (Carvalho; Sasseron, 2018, p. 48-49).

Essa abordagem busca promover a emancipação individual e coletiva dos educandos, por meio de um ensino crítico, dialógico e problematizador, em que os mesmos devem ser incentivados a participar ativamente da construção de seu próprio conhecimento e a refletir sobre a realidade social em que estão inseridos (Solino; Gehlen, 2015; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021), conforme destaca Bahia (2022) sobre a necessidade do letramento científico da população no contexto social e histórico contemporâneo, permitindo que os mesmos estejam inseridos em sua totalidade e participem ativamente do processo de mudança no comportamento social.

Para alcançar esses objetivos em um Ensino de Física humanizado, os professores devem estabelecer conexões entre os conteúdos abordados em sala de aula e a vida cotidiana dos educandos, sobretudo no que tange aos aspectos sócio-histórico-culturais, políticos, econômicos e tecnológicos (Solino; Gehlen, 2015; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021; Moreira, 2018c), pois “*o homem só se humaniza através de processos culturais, já que a Humanidade é uma invenção da cultura*” (Michaliszyn, 2012, p. 83), sendo fundamental, portanto, que os educandos compreendam os conceitos e fenômenos físicos presentes em seu entorno.

O Ensino de Física sob a perspectiva da Educação dialógico-problematizadora requer uma prática educativa centrada no ser humano, tornando o ensino mais acessível, inclusivo e significativo para os educandos (Santos; Oliveira; Queiroz, 2021; Oliveira *et al.*, 2017). Isso

implica em valorizar a individualidade dos educandos, os seus conhecimentos prévios e as suas percepções de mundo, além de estimular a empatia, a solidariedade e de promover uma educação crítica e reflexiva que questione os discursos hegemônicos presentes na sociedade (Solino; Gehlen, 2015; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021).

O contexto social atual demanda do cidadão a capacidade de análise crítica e reflexão. Quando os educandos percebem a relevância dos conteúdos estudados na escola para suas vidas cotidianas, eles têm a oportunidade de tomar decisões mais conscientes e embasadas em conhecimentos científicos. Um conteúdo escolar que esteja conectado à realidade da comunidade pode promover uma aprendizagem significativa da Física (Solino; Gehlen, 2015; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021).

E nessa perspectiva, os conceitos de Paulo Freire podem auxiliar os professores de Física na seleção dos conteúdos curriculares para a Educação Básica, visto que a concepção pedagógicas freiriana valoriza a cultura dos educandos e de sua comunidade no processo de aprendizagem. Muitas vezes, ouvimos críticas dos educandos de que o que é ensinado na escola não tem aplicação na vida real e, portanto, não possui relevância alguma para suas vidas. Isso significa que diversos conteúdos curriculares não estão alinhados com a realidade local. Nesse sentido, as ideias e conceitos de Paulo Freire são muito pertinentes, pois destacam o valor da cultura dos educandos e da comunidade para o processo de ensino e aprendizagem, além de gerar um engajamento para envolver a comunidade e promover uma aprendizagem significativa (Solino; Gehlen, 2015; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021).

Ao trazer essas ideias e conceitos freirianos para a escola, é possível mobilizar os moradores da região e promover uma aprendizagem significativa (Solino; Gehlen, 2015; Rosa; Giacomelli; Rosa, 2019). Com isso, segundo os PCN, a prática metodológica cotidiana do professor de Física para com seus educandos

Não se trata, portanto, de elaborar novas listas de tópicos de conteúdo, mas sobretudo de dar ao ensino de Física novas dimensões. Isso significa promover um conhecimento contextualizado e integrado à vida de cada jovem. [...] Para isso, é imprescindível considerar o mundo vivencial dos alunos, sua realidade próxima ou distante, os objetos e fenômenos com que efetivamente lidam, ou os problemas e indagações que movem sua curiosidade. Esse deve ser o ponto de partida e, de certa forma, também o ponto de chegada. Ou seja, feitas as investigações, abstrações e generalizações potencializadas pelo saber da Física, em sua dimensão conceitual, o conhecimento volta-se novamente para os fenômenos significativos ou objetos tecnológicos de interesse, agora com um novo olhar, como o exercício de utilização do novo saber adquirido, em sua dimensão aplicada ou tecnológica (Brasil, 1999, p. 23).

Portanto, a partir dessa premissa, o Ensino de Física ganha novas dimensões quando se conecta à realidade dos educandos, permitindo que eles vejam o conhecimento como uma

ferramenta para entender e solucionar problemas do seu cotidiano, estimulando seu interesse e envolvimento com a disciplina. Contudo, não existe um único método que resolva todos os desafios, mas os professores de Física podem repensar sua postura em relação à comunidade. Há dois passos que os professores podem dar a respeito disso.

O primeiro passo para isso é observar e problematizar a região onde a escola está inserida. Portanto, é importante levar os educandos para conhecer os problemas locais e, a partir daí, por meio de uma abordagem temática, selecionar os conteúdos curriculares que se encaixam na propostas problematizadora (Solino; Gehlen, 2015; Rosa; Giacomelli; Rosa, 2019; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021). O segundo passo é organizar o conhecimento curricular a partir dos problemas identificados, das situações significativas. É preciso construir argumentos que, com base no currículo, expliquem essas situações (Solino; Gehlen, 2015).

Portanto, a busca por um Ensino de Física dialógico-problematizador contextualizado com a realidade local de cada escola requer a revisão das práticas pedagógicas tradicionais, dando lugar a um ensino que valorize o diálogo democrático, a participação ativa dos educandos e a compreensão dos conteúdos do contexto social em que estão inseridos, levando em conta aspectos históricos, sociais, culturais, ambientais, tecnológicos, econômicos e políticos (Delizoicov, 1983; Araújo, 2021; Gehlen, 2009; Moreira, 2018b), pois a aprendizagem significativa se dá quando o educando consegue estender a compreensão para além dos significados literais (definições) dos conceitos e fenômenos físicos. Em outras palavras, Zabala (1998, p. 43) considera que

Não podemos dizer que se aprendeu um conceito ou princípio se não se entendeu o significado. Saberemos que faz parte do conhecimento do aluno não apenas quando este é capaz de repetir sua definição, mas quando sabe utilizá-lo para interpretação, compreensão ou exposição de um fenômeno ou situação; [...] Podemos dizer que sabemos o princípio de Arquimedes quando este conhecimento nos permite interpretar o que sucede quando um objeto submerge num líquido. [...] As condições de uma aprendizagem de conceitos ou princípios [...] Trata-se sempre de atividades que favoreçam a compreensão do conceito a fim de utilizá-lo para interpretação ou o conhecimento de situações, ou para a construção de outras idéias (Zabala, 1998, p. 43).

Essa citação de Zabala (1998), retirada de seu livro “A Prática Educativa: como ensinar”, enfatiza a importância de compreender profundamente os conceitos e princípios ao invés de apenas memorizá-los, pois isso não configura uma aprendizagem verdadeira. O autor argumenta que o verdadeiro conhecimento de um conceito vai além de ser capaz de repetir sua definição, envolvendo a capacidade de aplicá-lo para entender e explicar fenômenos ou situações da vida real.

Ao adotar a perspectiva da educação dialógico-problematizadora, o Ensino de Física passa a valorizar o diálogo como uma via para a construção coletiva do conhecimento (Araújo, 2021; Delizoicov, 1983; Solino; Gehlen, 2015) e a sala de aula se torna um espaço de troca de informações e aprendizado mútuo entre educador e educandos, a partir do compartilhamento de saberes, experiências, questionamentos e soluções dos conceitos e fenômenos físicos discutidos. Essa abordagem dialógica possibilita a contextualização dos conteúdos científicos, permitindo que os educandos compreendam como a Física está presente em suas vidas cotidianas e na sociedade como um todo.

O Ensino de Física na perspectiva dialógico-problematizadora pode ser utilizado para um despertar da conscientização dos educandos quanto à realidade, ao invés de apenas “transmitir conhecimentos” pré-estabelecidos. Com isso, o educador deve buscar conscientizar os educandos acerca da importância da Ciência, sobretudo da Física, e do pensamento crítico para uma melhor e honesta compreensão do mundo que os cerca. Essa conscientização implica em uma reflexão sobre as relações de poder presentes na produção do conhecimento científico-tecnológico e na própria prática pedagógica (Solino; Gehlen, 2015; Moreira, 2018a).

Além disso, a educação dialógico-problematizadora enfatiza a Práxis “a ação-reflexão-ação”, que é essencial para conectar os conceitos teóricos da Física com a realidade dos educandos (Solino; Gehlen, 2015; Araújo, 2021). Por meio da Práxis, os educandos são estimulados a aplicar os conhecimentos adquiridos em situações reais de leitura e escrita de mundo, conforme preconiza Brasil (2018a), seja em projetos, experimentos ou discussões de temas atuais. Essa abordagem incentiva a autonomia e o protagonismo dos educandos em sua própria formação (Freire, 1987; 2021) e permite que a Física seja entendida como uma ferramenta para leitura, escrita e transformação de mundo.

3.4 REFLEXÕES FILOSÓFICAS PARA UMA AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM HUMANIZADA

No contexto educacional a avaliação escolar é uma das peças-chave para compreender o progresso dos educandos e orientar o processo de ensino e aprendizagem. No entanto, sua relevância vai muito além de uma simples mensuração de conhecimentos adquiridos. Com isso, Rosa e Pires (2022) estabelece que ao nos defrontarmos com o desafio de planejar a avaliação de forma abrangente e significativa, surgem algumas perguntas essenciais: o que avaliar, por que avaliar e como avaliar?

No cenário educacional contemporâneo, a avaliação escolar assume um papel fundamental na busca por uma Educação humanizada, ou seja, que respeite a singularidade de cada educando e promova uma aprendizagem significativa para os mesmos (Rosa; Pires, 2022). Portanto, a avaliação vai além de simplesmente atribuir notas ou classificar desempenhos estudantis; ela busca aferir prognósticos de aprendizagens adquiridas no processo educativo.

Segundo Rosa e Pires (2022), uma avaliação bem planejada é substancial para promover um processo educativo que seja coerente com os objetivos educacionais e com a formação integral dos educandos. Com isso, os professores devem levar em consideração em suas práticas avaliativas as dimensões humanas associadas ao processo educativo, conforme estabelece a LDB (Brasil, 1996), a BNCC (Brasil, 2018a) e o DCRB (Bahia, 2022).

Nesse sentido, Luckesi (2011) considera o planejamento como o ato pelo qual o professor decide o que será construído, ao passo que a avaliação, para eles, consiste em um ato reflexivo e crítico que fornece subsídios para que o professor possa verificar como está sendo a construção do projeto educativo. Desse modo, o contexto do planejamento da avaliação escolar deve proporcionar a busca pelo diálogo com questões essenciais, como o que será avaliado, o porquê de se avaliar e como será feita a avaliação.

Portanto, uma etapa subsequente e importante do planejamento consiste em organizar os elementos que o compõem. Logo, baseado nos pressupostos estabelecidos por Souza e Santos (2019), o Quadro 1 abaixo mostra os elementos dessa etapa e suas descrições.

Quadro 1 – Elementos da avaliação escolar e suas descrições.

Elemento	Descrição
Objetivos	São as metas traçadas para se chegar ao que se quer alcançar. Portanto, os objetivos devem estar alinhados com os conteúdos curriculares selecionados.
Conteúdos	São os assuntos ou temas por, área do conhecimento, que representam o saber sistematizado, bem como os hábitos, atitudes, valores e convicções a serem trabalhados em prol do desenvolvimento de competências e habilidades.
Metodologia	Consiste em o que se deve fazer para que os objetivos geral e específicos propostos sejam atingidos por meio de um conjunto de técnicas e procedimentos aplicados ao contexto educacional.
Recurso	São os recursos materiais e imateriais utilizados no processo de ensino e aprendizagem.
Avaliação	É um elemento que deve ser constantemente aplicado em sala de aula, exercendo função diagnóstica, visto que identifica dificuldades e avanços dos educandos e professores no processo de ensino e aprendizagem, proporcionando melhoria nesse processo por meio de uma constante reflexão.

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir de Souza e Santos (2019).

O ato de avaliar requer uma análise profunda dos objetivos educacionais, a diversidade dos educandos e a criação de um ambiente de aprendizado inclusivo. A avaliação não deve ser apenas um ponto final do processo, mas, sim, uma jornada contínua de reflexão, aprimoramento e estímulo ao desenvolvimento integral dos educandos (Souza; Santos, 2019).

Por isso, é essencial que haja por parte dos professores uma reflexão sobre o planejamento da avaliação escolar, buscando compreender a importância de identificar quais aspectos devem ser avaliados, quais os propósitos que essa avaliação busca atingir e quais as estratégias mais adequadas para gerar retornos significativos e alinhados com as necessidades individuais dos educandos. Desse modo, cabe aos professores humanistas se engajarem nessa reflexão sobre o planejamento da avaliação escolar, em busca de uma Educação humanizada que desperte o interesse e a curiosidade dos educandos, que cultive o respeito à diversidade e que esteja alinhada com os valores da cidadania, da justiça social e da construção de uma sociedade mais equitativa.

Dessa forma, devido à enorme relevância que a avaliação da aprendizagem desempenha para a formação integral dos educandos, cujo papel central no processo educacional consiste em ser um instrumento pedagógico que possibilite ao professor perceber o progresso dos educandos, assim como as suas dificuldades e as possibilidades de aprendizagem, não devendo ser percebida como um fim em si mesma. Portanto, o ato de avaliar está vinculado ao ato de refletir e redirecionar e rever metodologias e práticas de ensino e trazer o estudante para um processo de reflexão sobre como se pode construir um ambiente propício à aprendizagem na sala de aula.

Não obstante, enquanto professores, vivenciamos em algum momento de nossas vidas práticas avaliativas muito relacionadas à reafirmação da autoridade, à punição, ao controle disciplinar e à classificação. Se considerarmos que o ato de avaliar precisa estar a serviço da reflexão sobre as práticas educativas, tais estratégias de controle precisam estar desvinculadas da avaliação, ou então o processo avaliativo estará comprometido na sua essência humanizada. Diante disso, Luckesi (2011, p. 28) afirma que

[...] importa estarmos cientes de que a avaliação educacional, em geral, e a avaliação da aprendizagem escolar, em particular, são meios e não fins em si mesmas, estando assim delimitadas pela teoria e pela prática que as circunstancializam. Desse modo, entendemos que a avaliação não se dá nem se dará num vazio conceitual, mas sim dimensionada por um modelo teórico de mundo e de educação, traduzido em prática pedagógica (Luckesi, 2011, p. 28).

Toda avaliação escolar dialoga diretamente com o processo de ensino e aprendizagem, ou seja, as práticas efetivadas pelos professores nas suas salas de aula. Desse modo, para além de utilizar esta avaliação pontualmente, como ferramenta de verificação da aprendizagem, classificação ou discriminação, é muito importante que se reflita sobre a efetividade dos processos de ensino que são praticados naquele ambiente educativo, além da afetividade que permeia a relação entre os professores e seus educandos, que deve ser baseada no respeito e na confiança mútuos (Luckesi, 2011; Freire, 1987; 2021).

Nesse sentido, vale ressaltar ainda que Luckesi (2011) indica que o ato de avaliar, na Educação, consiste em dois processos interligados: diagnosticar e decidir. O diagnóstico envolve a observação e a qualificação do objeto de avaliação, sendo essencial para fundamentar qualquer avaliação, o que proporciona a base material para a segunda etapa do processo, que é a qualificação, ou seja, a atribuição de uma qualidade, positiva ou negativa, ao objeto em avaliação. Essa qualificação é estabelecida com base em critérios de qualidade específicos, relacionados à finalidade do objeto avaliado. O processo de avaliar não se encerra na constatação e qualificação. A partir da qualificação, surge a necessidade de tomar uma decisão sobre o objeto avaliado. A tomada de decisão é guiada pelo objetivo que se pretende alcançar.

O diagnóstico e a decisão são etapas inseparáveis no processo de avaliação, e ambas são fundamentais para o seu sucesso. Um professor educador que busca uma prática educacional humanizada e transformadora não pode agir de forma inconsciente e irrefletida. Cada etapa de sua ação deve ser guiada por decisões claras e bem fundamentadas, levando em consideração os objetivos de aprendizagens almejados e o direcionamento dos resultados esperados. Nesse contexto, a avaliação não pode ser uma atividade mecanicista; ao contrário, deve ser uma atividade cuidadosamente planejada e orientada por uma abordagem política e decisiva, buscando promover a *"competência de todos os alunos para a participação democrática na vida social"* (Luckesi, 2011, p. 46), conforme preconiza Brasil (1996; 2018a).

Cada avaliação deve ser uma oportunidade para verificar o progresso dos educandos, identificar suas necessidades e adaptar as estratégias pedagógicas para promover o desenvolvimento máximo de suas competências e habilidades humanas. A avaliação deve se relacionar aos processos de escolha pelos quais passamos, ou seja, avaliar é também tomar decisões sobre o futuro, sobre os caminhos a serem trilhados. Nesse sentido, a avaliação escolar está carregada de responsabilidades pedagógicas e sociais, a atribuição de valores e a compreensão das possibilidades e limitações daquele processo de ensino e aprendizagem.

Tal processo, se for compreendido como ato de acompanhar a aprendizagem, por sua complexidade, está diretamente vinculado ao diagnóstico e à posterior intervenção, objetivando a melhoria daquela aprendizagem que se está acompanhando.

Desse modo, aprimorar as estratégias pedagógicas precisa ser uma ação sempre posicionada ao lado da avaliação, como consequência dela. Isso significa que os educadores podem, após refletir sobre os resultados dos processos avaliativos executados, adaptar seus métodos, inovar nas abordagens e no uso de recursos pedagógicos, adequando assim a Práxis ao que seus educandos efetivamente necessitam para avançar. O ato de avaliar continuamente e processualmente possibilita a evolução também constante dos processos de ensino e de aprendizagem.

Para isso, é preciso que se tenha a compreensão de que a avaliação pode demonstrar ao professor as potencialidades dos seus educandos, o que torna esta ação completamente diferente do ato de avaliar apenas para classificar, e lhe atribui uma dimensão acolhedora: acolher a realidade do educando, como defende Luckesi (2011).

Ao refletirmos sobre a importância da avaliação de e para a aprendizagem, podemos nos aprofundar mais um pouco nessa temática tão complexa e que, muitas vezes, não causa desconforto somente aos educandos, mas também para nós, professoras e professores. Neste sentido, Nascimento (2020, p. 123) corrobora com essa reflexão ao afirmar que

É de conhecimento de todos os trabalhadores da educação que, no ambiente escolar, o momento de maior tensão e apreensão por parte não só de alunos, mas também de professores, é o da avaliação, pois a prática avaliativa tanto pode promover e fomentar avanços como pode frustrar o aprendente, interferindo negativamente em seu desenvolvimento (Nascimento, 2020, p. 123).

Ao compreender o significado da avaliação como uma prática de reflexão e aprimoramento, não sentimos mais esse tipo de desconforto, visto que enxergamos a oportunidade de desvendar os potenciais e desafios dos educandos, bem como nossas práticas pedagógicas. O objetivo não é apenas mensurar o conhecimento adquirido, mas, sim, criar uma abordagem que incentive o desenvolvimento holístico dos educandos, considerando seus aspectos cognitivos, socioemocionais e éticos.

Ao refletirmos sobre o que avaliar, compreendemos que a avaliação não deve se limitar apenas à mensuração de conteúdo ou habilidades isoladas. Para Galvão (2016), a prática educativa deve levar em consideração que o processo de avaliar deve se iniciar quando os educandos demonstram seus conhecimentos com relação ao conteúdo ensinado, devendo continuar ao longo de todo processo educativo de assimilação desse conhecimento,

possibilitando ao professor explorar de forma mais abrangente as oportunidades em auxiliar esses educandos no enfrentamento dos desafios.

Assim, o processo avaliativo deve ser voltado para o benefício do estudante, que é o sujeito e protagonista do processo (Freire, 1987; 2021), aliado à sua aprendizagem e ao desenvolvimento de sua autoestima, o que estimula o contínuo desejo de aprender e fortalece seu vínculo com a escola. Ao colocar o discente no centro do processo avaliativo, promove-se uma Educação mais humanizada e significativa, que valoriza a individualidade e o engajamento dos educandos em seu próprio aprendizado (Galvão, 2016).

Além disso, a avaliação deve abranger aspectos multidimensionais da aprendizagem, como o desenvolvimento cognitivo, socioemocional e ético dos educandos, estabelecidos também na BNCC proposta por Brasil (2018a). Além disso, tão importante quanto, é considerar a diversidade de talentos e habilidades individuais, garantindo que a avaliação seja sensível às particularidades de cada estudante.

A avaliação é essencial para compreender o progresso dos educandos e identificar possíveis lacunas em seu aprendizado. Por meio da avaliação, os professores e as professoras podem tomar decisões fundamentadas, adaptar suas estratégias de ensino e proporcionar uma experiência educativa mais significativa e alinhada com as necessidades dos educandos. Como bem afirmam Rosa e Pires (2022)

Desta feita, a ação avaliativa oferece informações para os educadores refletirem sobre a sua prática pedagógica, com a intenção de identificar os conhecimentos prévios dos alunos para poder auxiliá-los no seu processo de desenvolvimento. Ensinar e avaliar precisam ter correspondência e deve ser feito num processo contínuo, onde vai questionar a forma ensinada, sua adequação às diversas maneiras de desenvolver as aprendizagens e levando em consideração a contextualização dos fatos históricos vividos pelos educandos, o que influencia fortemente na sua forma de aprender. Para isso, é preciso que esse profissional se despeça de suas velhas armaduras e redirecione seu planejamento para a flexibilidade e estratégias de ensino (Rosa; Pires, 2022, p. 196).

O planejamento cuidadoso da avaliação envolve a definição de objetivos claros e alinhados com os propósitos educacionais. É essencial escolher métodos e instrumentos de avaliação adequados, que permitam que as informações obtidas sejam claras, precisas e relevantes. O professor não deve ingressar na sala de aula com o intuito de "ensinar", mas, sim, de orientar e compartilhar a aprendizagem com os educandos de modo a promover o pleno exercício da cidadania e o preparo para o mundo do trabalho, por meio das aprendizagens que os mesmos estendem às situações reais de leitura e escrita de mundo.

Nesse sentido, uma abordagem avaliativa inovadora, com suas diversas interpretações, pode proporcionar uma ampla gama de novas oportunidades e práticas pedagógicas que podem ser incorporadas à rotina escolar com diferentes objetivos, especialmente o de despertar nos educandos o desejo de aprender, o entusiasmo pelo conhecimento e, sobretudo, o prazer de descobrir (Galvão, 2016).

A diversificação das estratégias avaliativas é fundamental para abranger diferentes habilidades e estilos de aprendizagem dos educandos. Além disso, é crucial fornecer feedback construtivo, orientando os educandos em seu desenvolvimento contínuo e incentivando-os a superar desafios. Nesse sentido, Luckesi (2011) afirma que

A avaliação da aprendizagem que opera sobre o processo de ensinar e aprender tem por função investigar, segundo determinado critério, a qualidade do que está sendo aprendido, revelando tanto o que foi aprendido como o que ainda falta aprender. Identificar o que ainda falta aprender conduz às atividades de intervenção, caso se tenha o desejo de obter um resultado mais satisfatório (Luckesi, 2011, p. 423).

Em se tratando de como avaliar, existem diversos instrumentos e procedimentos de avaliação escolar que os professores e professoras podem utilizar para obter uma compreensão mais abrangente do processo de aprendizagem dos educandos. No Quadro 2 abaixo estão algumas sugestões de instrumentos e procedimentos de avaliação.

Quadro 2 – Procedimentos e instrumentos de avaliação escolar.

Trabalhos e Projetos: Propor aos educandos a realização de trabalhos individuais ou em grupo, envolvendo pesquisas, análises, produção de textos, apresentações orais, entre outros, para avaliar o conhecimento aplicado em situações reais.
Observação em Sala de Aula: O professor pode observar o comportamento e o engajamento dos educandos durante as aulas, bem como suas interações com os colegas e o ambiente de aprendizagem.
Participação em Debates e Discussões: Avaliar a participação dos educandos em debates, discussões em grupo ou em sala de aula, considerando a capacidade de argumentação, escuta ativa e respeito às opiniões dos outros.
Avaliação Formativa: Realizar avaliações ao longo do processo de aprendizagem para fornecer feedback contínuo aos educandos, identificando pontos fortes e áreas que necessitam de maior desenvolvimento.
Provas e Testes: São instrumentos tradicionais de avaliação, que permitem verificar o domínio de conteúdos específicos pelos educandos. Podem incluir questões objetivas, discursivas e práticas.
Autoavaliação e Coavaliação: Incentivar os educandos a refletir sobre seu próprio desempenho e o de seus colegas, promovendo uma maior consciência sobre o processo de aprendizagem.
Diários de Aprendizagem: Os educandos podem registrar suas reflexões, dúvidas, avanços e desafios em diários, permitindo ao professor acompanhar de perto o processo de aprendizagem individual.
Mapas Conceituais e Mind Maps: Os educandos podem criar mapas conceituais, ou mind maps, para representar visualmente suas conexões de ideias e conhecimentos adquiridos.
Avaliação por Pares: Os educandos podem avaliar o trabalho de seus colegas, oferecendo feedback construtivo e identificando pontos fortes e áreas para melhoria.
Simulações e Jogos Educacionais: Utilizar simulações e jogos educacionais (digital ou físico - tabuleiro) para avaliar o aprendizado prático e a capacidade dos educandos de resolver problemas em cenários simulados.
Entrevistas: Realizar entrevistas individuais ou em grupo com os educandos para explorar suas percepções, opiniões e compreensão sobre os conteúdos estudados.

Análise de Produções Artísticas e Culturais: Avaliar produções artísticas, como pinturas, esculturas, composições musicais, bem como manifestações culturais, como danças folclóricas, como formas de expressão do aprendizado dos educandos.
Avaliação por Escrita Reflexiva: Solicitar aos educandos que escrevam reflexões sobre sua própria aprendizagem, descrevendo seus processos cognitivos e emocionais ao longo do estudo de um tema.
Exposições e Feiras de Conhecimento: Realizar exposições ou feiras de conhecimento em que os educandos apresentam projetos e trabalhos desenvolvidos ao longo do período, demonstrando o que aprenderam.
Portfólios Digitais: Criar portfólios digitais que incorporem diferentes tipos de mídia, como textos, vídeos, imagens e áudios, para demonstrar o aprendizado e o progresso dos educandos.
Autoavaliação por Meio de Escalas: Pedir aos educandos que se avaliem usando escalas para medir seu nível de confiança em relação a um tópico específico ou a habilidades específicas.
Portfólios: Os educandos podem reunir uma coleção de trabalhos, projetos e atividades realizados ao longo de um período, permitindo que demonstrem seu progresso e reflexões sobre o aprendizado.
Autoavaliação e Coavaliação: Incentivar os educandos a refletir sobre seu próprio desempenho e o de seus colegas, promovendo uma maior consciência sobre o processo de aprendizagem.

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir de Rosa e Pires (2022) e Luckesi (2011).

A seleção dos instrumentos e procedimentos de avaliação deve ser feita com base nos objetivos educacionais, nos conteúdos abordados e nas características dos educandos. A diversificação das estratégias de avaliação contribui para uma avaliação mais abrangente e alinhada com uma Educação mais humana, inclusiva e significativa. É importante lembrar que a avaliação deve ser uma ferramenta para promover o aprendizado contínuo e o crescimento dos educandos, e não apenas para classificar seu desempenho por meio de notas e conceitos finais.

A avaliação deve ser flexível e adaptada às características e diversidade dos educandos, ou seja, inclusiva, proporcionando oportunidades para que cada estudante demonstre seu potencial de aprendizado. Além disso, a integração das Metodologias Ativas na avaliação pode enriquecer essa abordagem, tornando-a mais dinâmica e envolvente, promovendo o engajamento e a participação ativa dos educandos em seu próprio processo de avaliação e aprendizado.

A LDB, em seu artigo 24, estabelece que a avaliação do desempenho do educando deve ser contínua e cumulativa, prevalecendo os aspectos qualitativos sobre os quantitativos e os resultados ao longo do período sobre os de eventuais provas finais (Brasil, 1996), se alinhando com os PCN, que defendem a adoção de uma avaliação contínua da aprendizagem e reforçam a oposição à avaliação tradicional que se concentra apenas em notas e conceitos. A avaliação contínua é uma ferramenta essencial para professor refletir sobre sua prática pedagógica e identificar possíveis ajustes necessários que promovam a aprendizagem dos educandos de forma mais efetiva.

Em vez de utilizar a avaliação como um mero instrumento de classificação ou comparação, a avaliação contínua e cumulativa busca compreender o processo de aprendizagem de cada educando individualmente. Dessa forma, promove-se um ambiente educacional mais

inclusivo e acolhedor, no qual os educandos são reconhecidos e valorizados em suas particularidades (Brasil, 1996; 2018a).

A mudança de foco da avaliação, direcionando-a para a compreensão do desenvolvimento do educando ao longo do tempo, contribui para que a escola cumpra sua função de promover a aprendizagem e o desenvolvimento integral dos educandos, conforme estabelecido em Brasil (1996; 2018a).

O principal objetivo da avaliação, portanto, deve ser auxiliar a experiência do educando no processo de construção do conhecimento, consistindo em momento de encontro e diálogo com a efetividade das situações didático-pedagógicas propostas, ampliando sua visão de mundo e proporcionando a formação integral do indivíduo.

A avaliação e a metodologia de ensino devem ser coerentes, ensinar e avaliar precisam ter coerência quanto aos níveis de complexidade adotados. Ao avaliarmos a aprendizagem, avalia-se o ensino, num processo contínuo, questionando-se a forma ensinada e sua adequação ao processo de aprendizagem e a mesma é necessária na prática docente, tendo em vista verificar se os objetivos específicos de aprendizagens preestabelecidos foram atingidos (Libâneo, 1994).

Com isso, há três tipos de formas de avaliação que são as mais utilizadas: diagnóstica, formativa e somativa.

A avaliação diagnóstica é realizada no início de um período letivo ou unidade de ensino com o objetivo de identificar o nível de conhecimento prévio dos educandos. A partir desse modelo, procura-se mapear as habilidades e competências que os educandos já possuem, permitindo ao professor adaptar sua prática pedagógica para atender às necessidades específicas de cada educando.

Há formatos cada vez mais dinâmicos, em plataformas como o Google Forms, que podem gerar estatísticas e gráficos de lacunas de aprendizagens em determinados conteúdos. Ela possibilita a investigação e o levantamento de informações sobre todo o processo de ensino e aprendizagem; aponta os avanços e dificuldades, permitindo realizar intervenções com o intuito de reorientar as ações pedagógicas; auxilia a reorganização e o replanejamento do trabalho do professor.

Sem caráter classificatório, as informações desse tipo de avaliação indicam os avanços e as dificuldades da turma e evidenciam os pontos fortes e fracos do processo educativo. Isso permite que as instituições de ensino repensem as atividades que irão favorecer o aprendizado dos educandos, ao avaliarem possíveis mudanças nas práticas escolares por meio das intervenções pedagógicas.

Já no que tange à avaliação formativa, o foco principal é acompanhar o processo de aprendizagem dos educandos em tempo real, em que se busca um retorno contínuo aos educandos e ao próprio professor sobre o progresso e as dificuldades enfrentadas, permitindo ajustes e intervenções para a melhoria do desempenho. O objetivo deste modelo de avaliação é orientar e direcionar o aprendizado, auxiliando os educandos a avançarem em seus conhecimentos e habilidades.

O caráter formativo da avaliação escolar, por sua vez, constitui-se na compreensão de que o erro praticado pelo estudante precisa ser observado para futuras intervenções por parte do professor, que deverá elaborar estratégias para desafiá-lo à reflexão e ao aprimoramento das suas habilidades, promovendo a sua própria regulação e um maior envolvimento no seu percurso formativo. É um processo contínuo, não pontual, inclusivo, que se situa no centro da ação de formação (Hadji, 2001), pois insere o estudante na própria prática avaliativa, como sujeito que reflete sobre seu desempenho e sobre as possibilidades de avanço (Bahia, 2022). Seu foco é a formação, ou seja, o acompanhamento efetivo do educando no que se refere à assimilação dos conteúdos programados e das competências e habilidades pretendidas.

Por fim, a avaliação somativa é a que ocorre ao final de um período de ensino ou unidade de estudo e tem como propósito principal atribuir uma nota ou conceito ao desempenho dos educandos. Esse é o formato mais conhecido de avaliação em todo o mundo há séculos e amplamente empregada atualmente, no qual comumente é utilizado em testes, provas e exames dos componentes curriculares nas escolas básicas e superiores para determinar o grau de domínio dos educandos com relação aos conteúdos curriculares preestabelecidos, sendo sua principal característica no processo de ensino-aprendizagem demonstrar o sucesso (ou insucesso) de assimilação desses conteúdos pelos educandos, por meio da associação de notas ou conceitos como forma de classificação, promoção ou certificação. Entre os instrumentos mais comuns para quantificar e categorizar os resultados da avaliação somativa, estão:

Dessa forma, podemos observar que a o processo avaliativo humanizado surge em busca de superar o modelo tradicional de avaliação, que é estático e que possibilita somente a constatação daquilo que o educando registrou no papel, e que pode estar muito aquém daquilo que ele realmente conhece, para que a avaliação se apresente como parte integrante de um ensino humanizado e contemporâneo, possibilitando ao professor ser mediador e organizador desse processo de ensino-aprendizagem. Contudo, os três tipos de avaliação têm seu devido lugar de relevância e podem ser utilizadas pelos professores de forma reflexiva, crítica e verdadeiramente coerente e honesta com os objetivos educacionais de aprendizagens dentro de um contexto educativo humanizado.

3.5 ALFABETIZAÇÃO TÉCNICA E O USO DE EQUIPAMENTOS GERADORES NO ENSINO DE FÍSICA

No que tange à prática educativa voltada para a contextualização do ensino de CNT na Educação Básica fundamentada pelos princípios filosóficos e do conceito de “*temas geradores*” da pedagogia humanista de Freire (1987; 2021), o conceito de “*equipamento gerador*” é promovido por Bastos (1990) como forma de enriquecer e alavancar o diálogo e a conscientização no ambiente escolar formal, por meio da “*alfabetização técnica*” trazida por Bazin (1977a), ao qual também segue por vias dialógicas e problematizadoras.

Segundo Bastos (1990), uma das grandes vantagens do uso equipamentos geradores no Ensino de Física é a possibilidade de se trazer para a sala de aula objetos reais do cotidiano dos educandos, possibilitando uma compreensão mais ampla e significativa dos conceitos e fenômenos físicos envolvidos na fabricação e funcionamento desses equipamentos, seja em atividades teóricas ou voltadas para a prática experimental. Além disso, a utilização desses equipamentos proporciona uma prática dialógica que parte do contexto sociocultural do educandos, fazendo com que eles se sintam mais interessados e engajados no processo de aprendizagem.

Para Bastos (1990) as práticas educacionais propostas pelo professor e experimentadas pelos educandos, devem ocorrer essencialmente seguindo a concepção do uso de equipamentos geradores, com a utilização de instrumental teórico-científico por meio da leitura e discussão de “textos de estudos” como modo de potencializar a compreensão e, conseqüentemente, o domínio dos equipamentos geradores. Neste aspecto, o autor afirma que

As atividades educacionais ocorreram fundamentalmente baseadas nos “equipamentos geradores”, no sentido de compreendê-los para poder dominá-los. Nesta linha surgia a necessidade de instrumentos teóricos, suportados pelos conhecimentos científicos universais da área da Física, que permitissem a construção da compreensão mais elaborada de alguns fenômenos essenciais. Foi aqui que entraram os “textos de estudos”, como busca destes conhecimentos científicos e os “guias teóricos-experimentais”, como sistematização da prática, ou seja, do manuseio com os “equipamentos geradores” (Bastos, 1990, p. 41).

Portanto, os equipamentos geradores propiciam que os conhecimentos escolares abordados em sala de aula possam responder a problematizações referentes ao tema proposto. Em contrapartida ao conceito de “*educação bancária*” cunhado por Freire (1987), o conceito de “*equipamento gerador*” que Bastos (1990) promove contextualiza o tema a ser abordado em sala de aula, dando um real significado aos educandos, sobretudo aos maiores de idade.

Dito isto, a ideia é implementar uma prática educativa utilizando objetos reais do cotidiano dos educandos, na qual possam caracterizar-se como equipamentos geradores no currículo de Física, que segundo Araújo (2020, p. 21), pautado Bastos (1995), Bazin (1977a) e Mion e Angotti (2004)

emerge da utilização de aparatos tecnológicos e/ou objetos concretos do cotidiano, que possibilitam explorar por meio de um plano de aula ou um programa educacional, leis, teorias e princípios físicos envolvidos na fabricação e no funcionamento desses. Estudá-los em atividades teórico-experimentais é uma prática dialógica que parte do contexto sociocultural do estudante e proporciona melhor compreensão dos conhecimentos físicos (Araújo, 2020, p. 21).

Para que a utilização de equipamentos geradores seja eficaz, é fundamental que as atividades educacionais ocorram com base nesses equipamentos, permitindo que os educandos compreendam e dominem seu funcionamento. Nesse sentido, os "textos de estudos" e os "guias teóricos-experimentais" são importantes instrumentos teóricos que devem ser utilizados pelos professores para que os educandos possam explorar e compreender melhor os princípios físicos envolvidos no funcionamento dos equipamentos (Bastos, 1990).

De fato, quando se tem situações que partem do concreto, do objeto real físico, sobretudo aqueles que são corriqueiros nas vidas das pessoas em geral, como é o caso do equipamento gerador “panela de pressão” utilizado nesta pesquisa, o interesse do educando passa a ser mais fácil de ser atraído, pois seus saberes prévios e sua curiosidade epistemológica reforçam para o aprofundamento no entendimento dos fenômenos físicos que fundamental determinado objeto concreto em estudo.

A utilização desses objetos tecnológicos, como a panela de pressão, segundo a proposta da “*Alfabetização Técnica*”, deve promover a capacitação das massas, especialmente o proletariado, em três aspectos principais: libertação econômica, libertação intelectual e a capacitação para exercer controle e iniciativas próprios no que tange à conscientização social e política, conforme Bazin (1977a, p. 97) afirma que

[...] a necessidade da alfabetização técnica visa, tal como a alfabetização habitual, não apenas libertar as massas do seu estado de sujeição, quer econômica, quer intelectual, mas, acima de tudo, a dar-lhes a possibilidade de iniciativa e de controle próprios; visam criar as armas intelectuais necessárias ao exercício prático da hegemonia do proletariado (Bazin, 1977a, p. 97).

Isso permite que as pessoas da classe trabalhadora possam assumir o controle e gerenciamento de suas próprias vidas e lutar conscientemente suas próprias emancipações e empoderamentos.

Com isso, há uma necessidade e humildade em reconhecer essas situações como extremamente valiosas para o Ensino de Física, uma vez que se procura trabalhar as situações-problemas a partir do concreto, abrindo espaço para diálogos sobre os processos científicos abordados que descrevem o funcionamento de determinado equipamento gerador, sem priorizar aspectos teóricos voltados para abstrações matemáticas e leis científicas, mas possibilitando o domínio dos aspectos técnicos (Bazin, 1977a).

Uma sugestão para manter o engajamento dos educandos durante esse processo é permitir que os educandos, além de olhar, toquem, desmontem, analisem, reflitam, questionem e compreendam desde o processo de construção até os princípios científicos de funcionamento do equipamento gerador ao qual estão estudando.

Diante disso, de acordo com a perspectiva de Bazin (1977a), considera-se que o ato de

Alfabetizar só tem sentido, se o uso da ciência e os conhecimentos técnicos fizerem com que o homem possa atuar sobre a realidade modificando o mundo, tornando-se capaz de gestionar os meios de produção. Assim, cabe aos cientistas participarem no mesmo objetivo ideológico, não atuando apenas para transmitir uma mera habilidade técnica, mas sim, aptidões e atitudes científicas (Araújo, 2020, p. 21).

Atrelado a isso, há o componente da *emancipação*. Este conceito encontra-se relacionado com os significados da tecnologia e vai além da simples compreensão de como as coisas funcionam, mas se preocupar com o significado político, econômico e social que essa tecnologia possui. Portanto, o processo de ensino-aprendizagem de Física na Educação Básica, pautado na literatura dos equipamentos geradores proposta por Bastos (1990), deve ser conduzido de tal forma a abordar conhecimentos científicos construídos historicamente e socialmente que vão além do simples entendimento dos conceitos e fenômenos físicos envolvidos no funcionamento dos equipamentos geradores, mas fornecendo subsídios para que os educandos consigam interpretar, refletir e atuar sobre o mundo em que vivem (Araújo, 2020).

De acordo com Auth *et al.* (1995) os objetos da realidade que possuem princípios de construção e funcionamento pouco compreendidos podem ser utilizados como geradores de um programa educacional em CNT.

Apesar das limitações impostas pelo currículo escolar, é possível potencializar a dialogicidade nas aulas de Física ao operacionalizar o processo educacional com equipamentos geradores por meio de atividades teórico-experimentais. É importante que a atividade prática preceda a atividade teórico-experimental para resgatar os conhecimentos prévios dos educandos e possibilitar a interação social, conforme estabelece Mion (1995, p. 11) que “*As pessoas agem racionalmente quando são capazes de interagir com as outras pessoas e é nessa interação que*

elas vão se educando, se construindo, num constante vir-a-ser no mundo. Essa pode ser uma das maneiras de se produzir conhecimento”.

Dito isso, o uso de equipamentos geradores reduz o risco de desvinculação com a realidade, e a reflexão durante o manuseio desses objetos reais contribui para a compreensão conceitual das teorias físicas.

Nesse contexto, a educação dialógica, com a atividade teórico-experimental e os equipamentos geradores, possibilitam que os envolvidos atuem como cidadãos mesmo dentro do ambiente escolar, e a Física se torna um instrumento para compreender o mundo em que vivemos. E essa abordagem educacional temática, aliada ao uso de equipamentos geradores, possibilita a compreensão conceitual e a aplicação prática dos conhecimentos físicos no cotidiano.

Dessa forma, busca-se garantir não apenas a percepção dos conceitos, mas também a universalização do entendimento sobre os fenômenos físicos relacionados (Auth *et al.*, 1995).

Para o uso dos equipamentos geradores, por serem objetos reais do cotidiano dos educandos, não foram desvalorizados como materiais de baixo custo, pois mantiveram suas características e funções originais nas atividades teórico-experimentais, que se basearam em situações da realidade vivida. Por exemplo, a panela de pressão em pleno funcionamento foi utilizada como núcleo da problematização desta pesquisa, estimulando uma discussão sobre a influência que a pressão exerce na temperatura de ebulição da água e, conseqüentemente, no tempo de cozimento dos alimentos. Isso significa que o objeto foi estudado sob uma perspectiva científica através do prisma da Física, mantendo sua função original, o que permitiu um diálogo genuíno e contínuo com os educandos (Delizoicov; Angotti, 1990; Auth *et al.*, 1995; Bastos, 1990).

É importante ressaltar que a utilização de equipamentos geradores deve ser acompanhada por uma prática educativa que privilegie o diálogo e a problematização, incentivando os educandos a questionarem e a se envolverem ativamente no processo de aprendizagem. Somente assim será possível alcançar uma compreensão mais profunda e significativa dos fenômenos físicos envolvidos nos equipamentos geradores e promover uma educação mais humanizada e contextualizada (Auth *et al.*, 1995; Bastos, 1990).

3.6 A DINÂMICA METODOLÓGICA DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Diante da proposta de um Ensino de Física dialógico-problematizador, busca-se por meio de uma conexão com “equipamentos geradores” promovidos por Bastos (1990) em

adequação à realidade dos educandos, aplicar procedimentos metodológicos que se alinhem com as propostas freirianas (Freire, 1987; 2021).

Para isso, será empregada a dinâmica metodológica dos 3MP proposta por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2021) e Delizoicov e Angotti (1990; 2000), que busca promover uma aprendizagem significativa de forma a estimular o pensamento crítico e a autonomia dos educandos.

Esse processo de aprendizagem se baseia em três momentos dialógico-problematizadores distintos, porém conectados entre si. São eles (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021; Abreu; Freitas, 2017; Delizoicov, 2012; Delizoicov; Angotti, 1990; 2000): 1. *Problematização Inicial (PI)*, 2. *Organização do Conhecimento (OC)* e 3. *Aplicação do Conhecimento (AC)*, assim estruturados:

- ❖ **1º Momento: PI “Estudo da Realidade”**, consiste da contextualização do tema abordado em consonância com realidade vivenciada pelos educandos de modo a instigá-los a pensar sobre um problema ou situação-problema que desperte o seus interesses e a sua curiosidade. O professor deve incentivar os educandos a fazerem perguntas, levantarem hipóteses e a problematizarem a situação, de modo a promover uma aprendizagem significativa. É nesta etapa que se leva em consideração o contexto sociocultural e os conhecimentos prévios dos educandos. É aqui que se faz uma leitura da realidade envolvendo o tema. Esta leitura pode dar-se através da identificação das “*palavras geradoras*” (Freire, 1987; 2021) obtidas por meio de uma investigação na fala comunidade, ou seja, as palavras mais usadas dentro do contexto por parte dos educandos durante uma conversa informal, com objetivo principal a leitura de mundo desses educandos e garantir o exercício da cidadania, da autonomia e da liberdade. O mesmo ocorre com os “*temas geradores*” (Bastos, 1990) – obtidos por meio de uma investigação temática na comunidade –, em que os conteúdos são estruturados, organizados e abordados a partir de uma problematização.

Segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2021), Delizoicov e Angotti (1990; 2000), Abreu e Freitas (2017) e Delizoicov (2012), neste primeiro momento são apresentadas situações reais que os educandos conhecem e presenciam e que estão envolvidas no tema da proposta da pesquisa. Organiza-se esse momento de tal modo que os educandos sejam desafiados a expor o que estão pensando sobre as situações. O professor deve incentivar os questionamentos dos educandos no decorrer das aulas. Para isso o professor deverá considerar que “*respeitar a*

leitura de mundo do educando significa tomá-la como ponto de partida para a compreensão do papel da curiosidade [...] como um dos impulsos fundantes da produção do conhecimento” (Freire, 2021, p. 120). Inicialmente, a descrição feita por eles prevalece, para o professor poder ir conhecendo o que pensam sobre o tema. A meta é problematizar o conhecimento que os educandos vão expando, de modo geral, com base em poucas questões propostas relativas ao tema e às situações significativas, questões inicialmente discutidas num *pequeno grupo*, para, em seguida, serem exploradas as posições dos vários grupos com toda a classe, o *grande grupo* (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021). Considerando o que foi dito, segue que

Freire defende o diálogo entre o conhecimento dos educandos e o dos educadores como uma das características fundamentais do ato educativo que visa a transformações. Associada a esse caráter dialógico, a problematização também desempenha papel fundamental, uma vez que Freire afirma que são os problemas e seus enfrentamentos a origem dos conhecimentos. O processo de codificação-problematização-descodificação constitui uma síntese das dimensões dialógica e problematizadora, que estruturam o ato educativo (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021, p. 150).

De acordo com Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2021), esta etapa trata-se de um momento inicial caracterizado pela apreensão e compreensão da posição dos educandos ante as questões em pauta, a função coordenadora do professor concentra-se mais em questionar posicionamentos – até mesmo fomentando a discussão das distintas respostas dos educandos – e lançar dúvidas sobre o assunto do que em responder ou fornecer explicações. Ou seja “*deseja-se aguçar explicações contraditórias e localizar as possíveis limitações e lacunas do conhecimento que vem sendo exposto, quando este é confrontado implicitamente pelo professor com o conhecimento científico que já foi selecionado para ser abordado*” (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021, p. 156). E em síntese, a finalidade deste momento é propiciar um distanciamento crítico do educando, ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão.

Nessa etapa o professor apresenta uma situação-problema que desperta o interesse e a curiosidade dos educandos. Neste momento, os educandos são instigados a levantar hipóteses, fazer perguntas e a problematizar a situação apresentada, o que resulta na formulação de um problema a ser investigado. E o ponto culminante desta problematização é fazer que o educando sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém, ou seja, procura-se configurar a situação em discussão como um *problema* que precisa ser enfrentado (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021; Silva; Freitas, 2017).

- ❖ **2º Momento: OC “Aprofundamento Teórico”**, consiste de um aprofundamento teórico através de uma intermediação entre o concreto e o teórico. É neste momento que o educando parte de uma curiosidade ingênua para uma curiosidade sistêmica, ocasionando uma ruptura epistemológica. Nesse segundo momento, que consiste essencialmente da investigação científica, é que ocorre a pesquisa e a obtenção de dados para a resolução do problema proposto durante o primeiro momento. Neste momento, o professor deve incentivar a observação, a experimentação e a pesquisa de fontes de informação relevantes para o tema em questão. É neste momento que os educandos realizam experimentos e analisam dados, sempre com o acompanhamento do professor e organizam o conhecimento adquirido, sistematizando as informações e buscando as relações entre elas.

Para Freire (2021), o ato de exercitar a curiosidade convoca a imaginação, a intuição, as emoções, a capacidade de conjecturar. E quanto mais fizer estas operações com maior rigor metódico, maior será a aproximação dos achados de sua curiosidade. E nesta perspectiva que o conhecimento científico do educando pode ser construído a partir de seu senso comum.

Sob a autoridade do professor os conhecimentos necessários selecionados para a compreensão dos temas e da PI são sistematicamente estudados neste segundo momento. Nesta etapa o professor propõe uma gama de variedades de atividades de modo que ele possa desenvolver a conceituação identificada como essencial para uma compreensão científica das situações problematizadas (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021; Delizoicov, 2012; Abreu; Freitas, 2017). É neste momento que a resolução de problemas e exercícios, tais como os propostos nos livros didáticos, pode desempenhar sua função formativa na apropriação de conhecimentos científicos. No entanto, conforme se tem destacado, esse é apenas um dos aspectos da problematização necessária para a formação do educando.

- ❖ **3º Momento: AC “Intervenção no Mundo”**, consiste em sintetizar as aprendizagens realizadas nos dois momentos anteriores com a finalidade de aplicá-las a outras situações e contextos a partir de um plano de ação para entender a realidade concreta a partir do conhecimento teórico construído. É aqui que novos conhecimentos são edificados a partir do estudo teórico da realidade, em que a questão norteadora levantada na PI é respondida de forma sistêmica, o que estimula a autonomia e o pensamento crítico dos mesmos. De acordo com Freire (2021), o ato de educar em essência é uma forma de se intervir no mundo. Neste momento, os educandos devem relacionar as

aprendizagens com o cotidiano, aprimorar os conhecimentos e habilidades desenvolvidos e refletir sobre o processo de aprendizagem em si.

O terceiro e último momento dialógico-problematizador, conforme verificado em Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2021), Abreu e Freitas (2017) e Delizoicov (2012), é a etapa destinada a permitir que os educandos utilizem os conceitos desenvolvidos na OC para interpretar, sistematizar, propor e apresentar soluções e respostas para a problematização levantada e debatida na PI.

Além do mais, este é um momento para incentivar o educando a buscar distintas situações das que foram apresentadas e discutida, de modo que se possa verificar a evolução do educando em conseguir generalizar o conhecimento sistematicamente construído na OC.

Com isso, o Ensino de Física dentro da abordagem focada na prática experimental contextualizada com a realidade dos educandos tem como pilar a vivência dos mesmos em sala de aula através da integração dos saberes.

Essa integração democrática se estabelece por meio da interdisciplinaridade, cooperatividade e afetividade entre professor e educandos. E para que se estabeleça uma democracia no ambiente de ensino, é indispensável que o professor tenha respeito com seus educandos, aos conhecimentos de experiências feitos com que eles chegam à escola, conforme preconiza Freire (2021). Em concordância ao que foi dito, afirma-se que

[...] não posso de maneira alguma, nas minhas relações político-pedagógicas com os grupos populares, desconsiderar seu saber de experiência feitos. Sua explicação do mundo de que faz parte a compreensão de sua própria presença no mundo. E isso vem explicitado ou sugerido ou escondido no que chamo leitura de mundo, que precede a leitura da palavra. [...] não posso, se realmente progressista, impor-lhes arrogantemente o meu saber como o verdadeiro (Freire, 2021, p. 79).

Como professor devo saber que sem a curiosidade que me move, que me inquieta, que me insere na busca, não aprendo nem ensino. [...] O fundamental é que professor e alunos saibam que a postura deles, do professor e dos alunos, é dialógica, aberta, curiosa, indagadora e não apassivada. [...] O que importa é que professor e alunos se assumam epistemologicamente curiosos (Freire, 2021, p. 83).

Segundo Delizoivoc, Angotti e Pernambuco (2021) e Abreu e Freitas (2017) o educando, sujeito do processo de aprendizagem, está constantemente em construção de suas concepções sobre o mundo natural e social que está inserido, em que a escola nada mais é do que um espaço formal onde as explicações e linguagens são construídas. E sendo sujeito de sua própria aprendizagem, ele nasce em um ambiente mediado por outros seres humanos, pela

natureza e por artefatos materiais e sociais. E é através dessas relações que ele constrói linguagens e conceitos que se alteram do decorrer de sua vida.

Tendo em vista a proposta metodológica dos momentos pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2021), pode-se perceber uma íntima relação com os princípios filosóficos da PL de Paulo Freire. A partir desses princípios, os autores consideram que

Nenhum aluno é uma folha de papel em branco em que são depositados conhecimentos sistematizados durante sua escolarização. As explicações e os conceitos que formou e forma, em sua relação social mais ampla do que a de escolaridade, interferem em sua aprendizagem de Ciências Naturais (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021, p. 102).

Os educandos possuem uma grande variedade de conceitos e explicações que são permeados por suas experiências corporais mais diretas e mediadas por uma linguagem e explicações socialmente construídas. É o caso da palavra “branco”, por exemplo, que para o mundo ocidental possui um sentido, mas para os povos esquimós existem dezenas de palavras que expressam o mesmo (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021).

É importante ressaltar que para um processo educativo que alinhe as ideias de Freire (1987) com a dinâmica pedagógica proposta por Delizoicov e Angotti (1990), só possui significado na condição em que os educandos, protagonistas de sua própria aprendizagem, ao aprender, reconhecer que podem atuar sobre a realidade, intervindo no mundo.

De acordo com Santos e Meirelles (2019), conforme consta nas DCN para o EM, o ensino deve ser contextualizado de acordo com a realidade dos educandos, ao passo que possibilita uma reflexão sobre a transformação que precisa ser feita na escola ao dizer que a escola precisa ser reinventada para desenvolver sujeitos inventivos, participativos, cooperativos e preparados para diversas esferas sociais, políticas, culturais e profissionais.

Além disso, é essencial que esses sujeitos tenham habilidades para intervir e questionar as formas de produção e de vida. Ou seja, as diretrizes enumeram uma série de qualificações, habilidades e competências para que a escola, professores e o ensino deem conta na formação dos sujeitos. Entretanto, a contextualização não pode ser algo singular ao ponto de que o professor retira da realidade dos educandos um objeto de estudo, propõe uma discussão acerca desse objeto e passa para a resolução de exercícios nos livros didáticos.

Com isso, contextualizar deve favorecer que educandos compreendam que a escola e o seu cotidiano estão intimamente interligados, que sejam capazes de fazer relações significativas entre os conhecimentos do senso comum e científico, levantar temas e levá-los à escola. Que se sintam acolhidos, respeitados e, acima de tudo, convidados a protagonizar os debates sobre

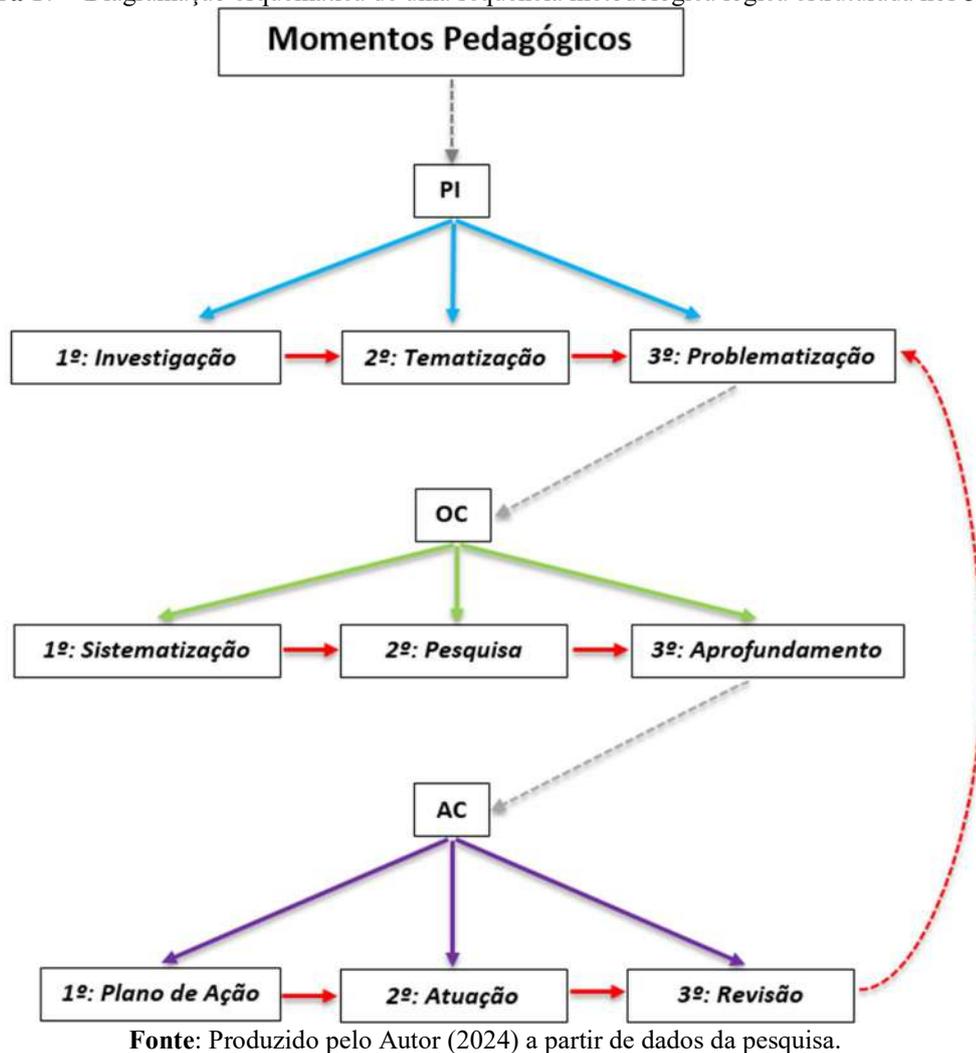
os componentes curriculares das CNT estabelecidas pela BNCC, integrando elementos do saber comum para então emergir uma nova forma de interpretar os seus contextos por meio dos conhecimentos científicos aprendidos (Santos; Meirelles, 2019).

Ao propor uma abordagem metodológica baseada na resolução coletiva de problemas, é proporcionado ao educando a oportunidade de construir o conhecimento necessário para enfrentar os desafios da vida. Essa vivência metodológica incentiva a participação ativa do educando, desenvolvendo no mesmo habilidades essenciais para sua formação cidadã e sua preparação para o mundo do trabalho, como a capacidade de tomar decisões, trabalhar em equipe e aprender de forma autônoma, conforme preconiza a BNCC (Brasil, 2018a) e o DCRB (Bahia, 2022).

A utilização desse procedimento metodológico de aprendizagem pode contribuir significativamente para a formação de cidadãos e profissionais críticos e reflexivos, capazes de solucionar problemas tanto no ambiente de trabalho quanto na vida em sociedade em geral. Para isso, é fundamental que o processo de formação vá além do ensino centrado na transmissão de conteúdos e na abordagem “*tecnicista*” (Delizoicov; Angotti, 2000, p. 26) fundamentada em concepções advindas da psicologia comportamental que se distingue pelo emprego da instrução programada, análise minuciosa de tarefas, ensino modular, abordagem auto-instrutiva e destaque na avaliação, com a implementação de testes visando a identificação de modificações comportamentais ao longo do processo de estudo, e busque estimular a reflexão, criatividade, criticidade, autonomia e responsabilidade do educando em relação à sua própria aprendizagem.

Abaixo segue um diagrama representado na Figura 17 que estabelece uma sequência metodológica lógica estruturada nos 3MP, a ser aplicada na SD, e baseada na interpretação do autor desta pesquisa.

Figura 17 – Diagramação esquemática de uma sequência metodológica lógica estruturada nos 3MP.



Por meio da análise do *diagrama esquemático*³ acima, nota-se que é na fase da AC que os conhecimentos são estendidos para outras situações. Além disso, é nessa fase que os educandos retornam à(s) questão(as) problematizadora(s) da PI para respondê-la com um arcabouço teórico mais consolidado durante a OC.

3.7 A HISTÓRIA DA PANELA DE PRESSÃO

No século XVII, o físico francês Denis Papin (1647 – 1712) (Figura 18) criou um aparelho no intuito de reduzir o tempo de cozimento dos alimentos. Esse aparelho ficou conhecido como “digestor de Papin”, ou simplesmente “marmitta de Papin”.

³ A partir das aprendizagens científicas construídas principalmente durante a OC, durante a AC os educandos podem retorna à(s) problematização(ões) inicial(is) proposta(s) na PI e responde-la(s) de forma mais consciente, crítica e reflexiva.

Figura 18 – Estátua erguida em homenagem a Denis Papin.

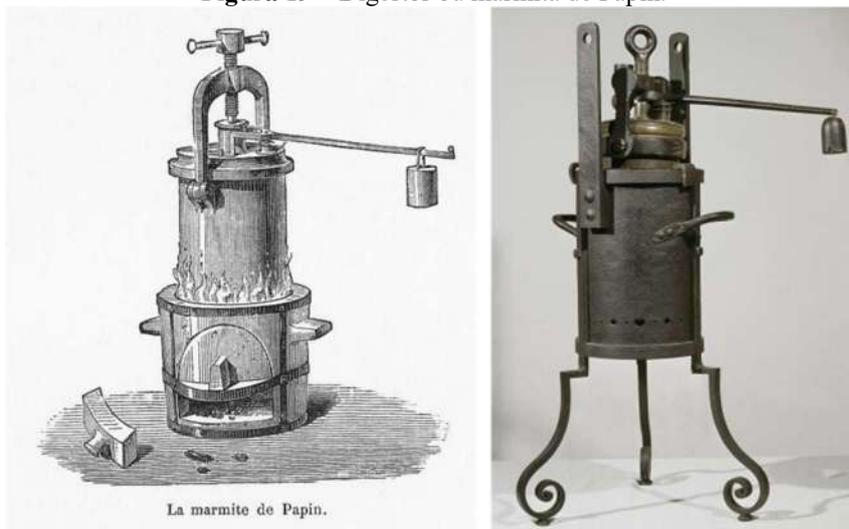


Fonte: Moreno (2016, online).

Na Figura 18 é possível ver a inscrição que ele foi o inventor da máquina a vapor e é representado com o seu famoso “digestor”, que é uma autoclave e o precursor tecnológico da panela de pressão “Olla Expres”, que foi inventada em 1917 por José Alix Martínez.

A invenção de Papin consistia basicamente um recipiente de ferro em formato cilíndrico e fechado hermeticamente, altamente resistente, e que podia ser alimentado com fogo através de sua base que permitia regular a pressão do vapor por meio de um contrapeso na válvula de segurança. E foi na cidade de Londres, no ano de 1679, que ele a utilizou para demonstrar a membros da Sociedade Real de Londres a relação existente entre a temperatura de ebulição da água e a pressão ao qual a mesma estaria submetida dentro do digestor. Essa invenção permitiu a idealização de um cozimento mais rápido dos alimentos e foi a partir daí que se iniciou a trajetória da panela de pressão moderna (Moreno, 2016; Nunes, 2017; Gretton, 2008). No entanto, essa versão criada por Papin foi puramente experimental. A mesma pode ser visualizada por meio da Figura 19.

Figura 19 – Digestor ou marmita de Papin.



Fonte: Adaptado de Gretton (2008, online) e Moreno (2016, online).

Na Figura 19 pode-se notar duas imagens similares. A imagem à esquerda consiste em uma representação artística do digestor de Papin, enquanto que a imagem à direita trata-se de uma foto real de uma unidade restaurada do digestor de Papin exposta no “Musée des Arts et Métiers” em Paris. Apesar dessa invenção promissora, a panela de pressão quase como a conhecemos hoje só ocorreu mesmo quase dois séculos depois da apresentação do digestor de Papin à Sociedade Real de Londres, já no século XIX.

Segundo Moreno (2016), a primeira pessoa a fabricar e comercializar oficialmente panelas de pressão foi Georg Gottlob von Gutbrod (1791 – 1861), no ano de 1864, na cidade alemã de Stuttgart e capital do estado de Baden-Württemberg. Suas panelas de pressão eram manufaturadas em ferro fundido estanhado e foram um marco importante que revolucionou a culinária. Um modelo similar pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 – Ilustração da panela de pressão do século XIX, criada por George Gottlob von Gutbrod (à esquerda). Panela de pressão real fabricada por Georg Gottlob von Gutbrod, em Stuttgart, por volta de 1864 (à direita).



Fonte: Adaptado de *de-academic.com* (imagem à esquerda) e *wikimedia.org* (imagem à direita).

José Álix Martínez (datas de nascimento e morte desconhecidas) nasceu em Saragoça, Espanha. Em 1917, ele apresentou um design inovador de uma panela de pressão portátil de pequeno porte, a qual chamou de “Olla Exprés” (Figura 21), ou “panela expressa”. Sua invenção foi patenteada por ele no ano de 1919. Este modelo foi amplamente utilizado para preparar café rapidamente (Pressurecookers, 2021; Moreno, 2016).

Figura 21 – Modelo “Olla Exprés” desenvolvido por José Álix Martínez em 1917.



Fonte: Moreno (2016, online).

A panela de pressão teve grande evolução a partir da II Guerra Mundial devido à grande demanda por equipamentos com a melhor eficiência entre custo de gás de cozinha e tempo de cozimento dos alimentos. Entretanto, foi apenas em 1938 que a primeira panela de pressão projetada exclusivamente para uso doméstico culinário foi comercializada pelo inventor estadunidense Alfred Vischler (1918 – 1988) e apresentada na cidade de Nova Iorque, ficando popularmente conhecida como “Flex-Seal Speed Cooker” (Cozimento Rápido com Vedação Flexível). Essa versão (Figura 22) trouxe muitas contribuições para o público em geral, que agora tinha um equipamento mais acessível comercialmente para auxiliar nos processos de cozimento dos alimentos de forma a torna-los mais rápidos (Pressurecookers, 2021; Moreno, 2016; Hanson, 2018; Nunes, 2017).

Figura 22 – Modelo doméstico flex-seal speed cooker de 1938, desenvolvido por Alfred Vischler.



Fonte: Hanson (2018, online).

Em 1989 foi apresentada na *Feira Mundial de Nova Iorque*⁴ uma panela de pressão feita de alumínio cuja tampa tinha um encaixe rápido e de fácil fechamento. Ela foi desenvolvida pela National Pressure Cooker Company, depois renomeada como National Presto Industries (Pressurecookers, 2021).

Com o decorrer do tempo, as panelas de pressão tiveram melhorias em seus designs e, sobretudo, nos sistemas de segurança adaptados nas mesmas, de modo a tornar esses utensílios domésticos mais seguros e confiáveis para o uso diário. Sua evolução se deu inicialmente em ferro fundido, indo para o alumínio em seguida, depois passando para o aço inoxidável, e até mesmo cobre (Pressurecookers, 2021). E esse processo evolutivo não parou.

No ano de 1991, surgiu a primeira panela de pressão elétrica, trazendo consigo algumas melhorias em relação aos modelos anteriores (Academic Accelerator, s.d.).

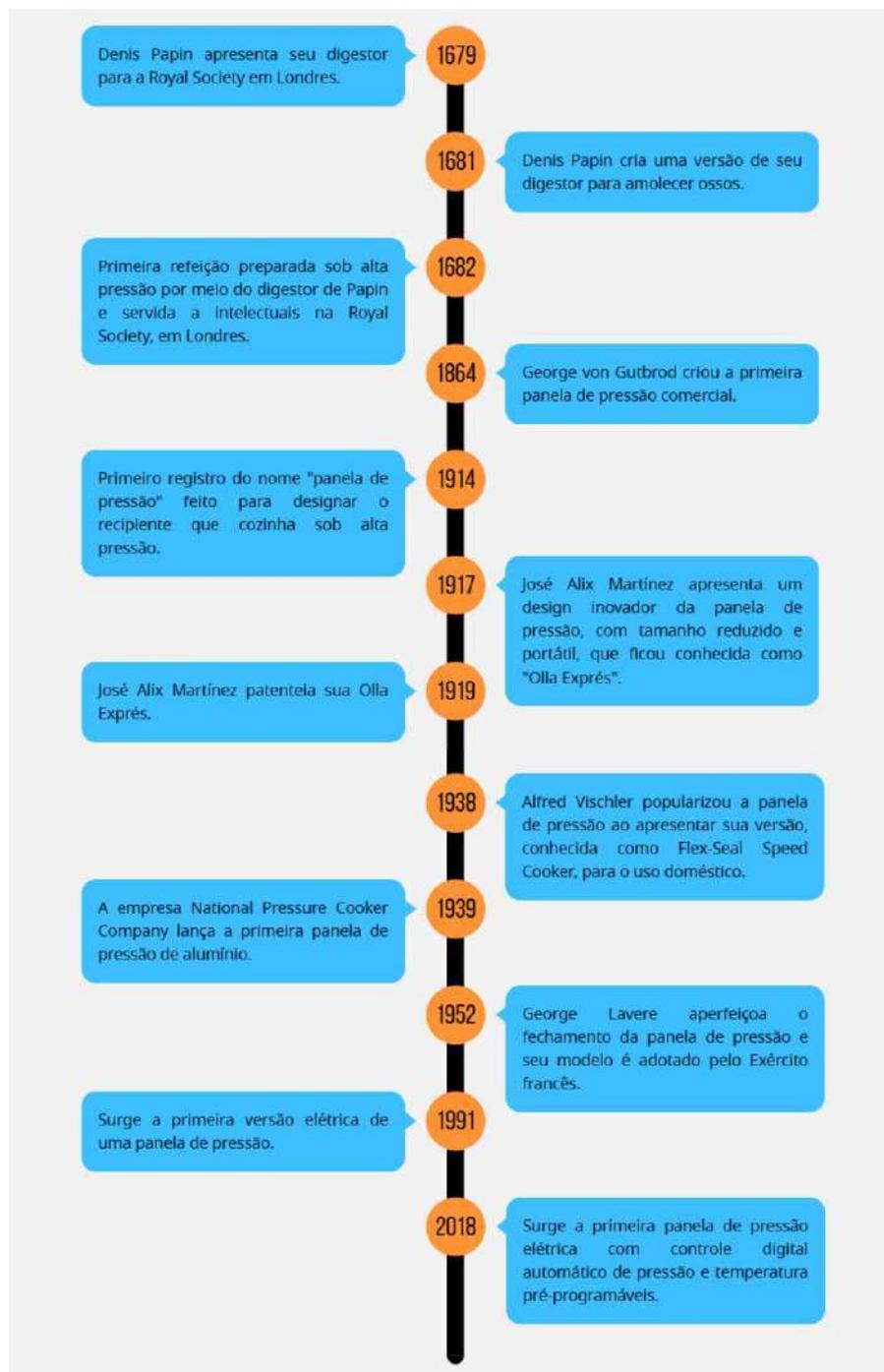
Com isso, ao passo que as panelas de pressão convencionais possuem a desvantagem da perda líquida e água na forma de vapor que sai pela válvula reguladora de pressão localizada em sua tampa, à medida que a pressão interna superar ligeiramente a pressão externa (válvula + atmosfera local), e por ser difícil controlar as chamas do fogão que fornecem energia na forma de calor às panelas convencionais, as panelas de pressão elétricas não possuem essas válvulas, evitando a perda líquida dentro da panela, uma vez que o controle de pressão é feito por meio do controle automático do aquecimento (fornecimento de calor) por um microprocessador interno que controla a resistência elétrica de um resistor elétrico dentro da panela de acordo com a pressão pré-estabelecida como limite máximo e detectada pelo medidor interno de pressão na panela (Nunes, 2017).

A Figura 23 ilustra uma linha do tempo do desenvolvimento contendo o resumo sobre a evolução da panela de pressão abordada nesta pesquisa, conforme (Pressurecookers, 2021; Moreno, 2016).

Um dispositivo interessante é a autoclave, que contém os mesmos princípios básicos de funcionamento de uma panela de pressão. Esses dispositivos foram desenvolvidos para esterilizar instrumentos cirúrgicos, como bisturis, além de cortadores de unha, pinças, entre outros. Isso é possível graças às temperaturas de 120 °C devido à alta pressão interna, propiciando a eliminação de organismos patogênicos que podem causar danos à saúde humana.

⁴ Organizada no Flushing Meadows-Corona Park, na cidade de Nova Iorque, Estados Unidos, a Feira Mundial de Nova Iorque atuou de 1939 a 1940 e tinha um cunho futurista com a temática “O mundo do amanhã”, permitindo que os mais de 44 milhões de visitantes ao longo de duas temporadas olhassem para as exposições e suas perspectivas futuras relacionadas aos avanços tecnológicos que emergiam na época. Esse evento contou com a presença de participantes de diversos países, dentre eles dois consagrados brasileiros Lucio Costa e Oscar Niemeyer, e no dia de inauguração, o presidente dos Estados Unidos, Franklin D. Roosevelt, fez o discurso da abertura desse evento (Martins, 1996).

Figura 23 – Linha do tempo da evolução da panela de pressão.



Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir de dados da pesquisa.

O contexto histórico da panela de pressão demonstra como as contribuições científicas e tecnológicas ao longo dos séculos aprimoraram a forma de como as pessoas cozinham seus alimentos, sendo este um utensílio doméstico indispensável nos dias atuais devido sua capacidade em dar celeridade a esse processo, sobretudo com alimentos mais duros, como feijão, amendoim, carnes mais duras etc.

3.8 A FÍSICA DA PAINELA DE PRESSÃO

A painela de pressão, assim como diversos outros maquinários do dia a dia, como usinas termoelétricas, motor de combustão interna, motor a vapor, caldeira etc., são dispositivos capazes de converter energia térmica em energia mecânica. A forma como ocorre essa conversão, no caso da painela de pressão, será discutida mais adiante.

De maneira geral, o princípio físico de funcionamento de todos os exemplos supracitados é exatamente o mesmo das *máquinas térmicas*, ou seja, a conversão de energia de um tipo para outro. No entanto, a painela de pressão pode ser considerada como sendo um sistema termodinâmico fechado, ou seja, que permite a troca de energia com o meio externo sem que haja troca de matéria.

As *máquinas térmicas*, resumidamente, são dispositivos mecânicos que operam em ciclos, convertendo energia térmica em energia mecânica, ao qual obedecem à *1ª Lei da Termodinâmica*, que estabelece o *Princípio da Conservação da Energia*. Porém essa conversão é proibida pela *2ª Lei da Termodinâmica* de ocorrer de forma integral, além das transformações físicas espontâneas ocorrerem somente no sentido da “seta do tempo” (Pietrocola *et al.*, 2013; Chaves; Sampaio; 2007). Ou seja, há sempre uma parcela da energia fornecida que não é convertida em energia útil. E isso é justificado por meio do rendimento da máquina térmica ideal de Carnot, ao qual afirma que nenhuma máquina térmica construída pelo homem pode ter rendimento igual ou superior ou rendimento da máquina ideal de Carnot. E até mesmo a máquina ideal de Carnot possui um rendimento inferior a 100 % (Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio; 2007).

A Figura 24 abaixo ilustra um mapa conceitual contendo todos os conceitos e fenômenos físicos tratados neste trabalho. Para a leitura do mapa, baseie-se na legenda de cores abaixo.

Amarelo: *Painela de Pressão e suas Partes;*

Lilás: *Princípios Físicos;*

Verde: *Fenômenos Físicos;*

Laranja: *Conceitos Físicos;*

Cinza: *Fenômeno Físico-Químico.*

modalidades ou mesmo transferida de um sistema para outro. Porém, nos domínios da Mecânica Quântica, a energia é quantizada, ou seja, só pode assumir valores discretos, em vez de assumir qualquer valor contínuo. Em outras palavras, a energia é uma grandeza física que se acrescida em um sistema ou retirada dele, altera, ao menos, uma das propriedades desse sistema.

A energia pode existir em várias formas, como energia cinética (associada ao movimento), energia potencial (associada à posição ou configuração), energia térmica (associada à temperatura), energia elétrica, energia química, dentre outras. A energia pode ser expressa matematicamente a partir de uma função ou um autovalor de um operador hermitiano. A energia está presente desde as escalas microscópicas, como nas interações entre partículas subatômicas, até as escalas macroscópicas, como no movimento dos planetas.

Além disso, a energia é essencial para o funcionamento de diversos sistemas, como motores, usinas de energia, dispositivos eletrônicos e até mesmo nos processos biológicos do corpo humano. Ela também pode ser transferida de um lugar para outro ou mesmo convertida de uma forma para outra, em diversos tipos de processos (Feynman; Leighton; Sands, 2008).

Agora no que diz respeito a *energia térmica*, pode-se conceber que se trata da energia que está associada aos diversos tipos de movimentos atômicos e moleculares, uma vez que as partículas constituintes da matéria – átomos e moléculas – nunca estão parados, estáticos, ou seja, estão sempre em movimentos (Torres *et al.*, 2016b).

Da Mecânica Clássica, é sabido que a energia associada ao movimento é a *energia cinética* (Nussenzveig, 2014a; Chaves; Sampaio, 2012; Torres *et al.*, 2016a). Portanto, a energia térmica nada mais é do que a energia cinética total devido às movimentações dos átomos e moléculas constituintes de um determinado sistema físico, estando também associada à temperatura absoluta deste sistema, uma vez que a mesma indica o grau de agitação molecular (Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013). Ou seja, representa a soma de todas as energias cinéticas de translação, rotação e vibração dos constituintes microscópicos (átomos e moléculas) de um dado sistema físico, tal qual é afirmado por Torres *et al.* (2016b, p. 13) “o somatório das energias cinéticas das partículas de determinada porção de matéria denominamos energia térmica”.

A energia térmica não deve ser confundida com temperatura, que é outro conceito que será abordado adiante. E tampouco deve-se achar que o segundo conceito se trata de uma medida direta do primeiro, pois não é! Até porque a energia térmica configura a quantidade total de energia cinética associada às partículas microscópicas (átomos e moléculas) de um sistema físico, sendo uma grandeza extensiva (que pode ser somada para se obter um total) e cujo valor irá depender do número de partículas do sistema, ao passo que a temperatura é uma

grandeza intensiva (não pode ser somada para se obter um total), em que, para um sistema no qual a natureza e o número de partículas sejam mantidos constantes, a temperatura e a energia térmica são grandezas relacionadas (Pietrocola *et al.*, 2013). Ou seja, fornecendo-se energia ao sistema, de modo que sua energia térmica aumente, a energia cinética média de cada uma das partículas deste sistema também aumenta. E como consequência disto, a temperatura desse sistema também aumenta.

De modo geral, a unidade de medida da energia no *Sistema Internacional de Unidades (SI)* é o joule (J). Em linguagem matemática, a energia térmica, E_T , pode ser representada como sendo a soma das energias cinéticas, E_C , das partículas constituintes do sistema, dada por (Chaves; Sampaio, 2007, p. 186)

$$E_T = \sum E_C \quad (1)$$

De acordo com a Teoria Cinética dos Gases, para os sistemas em que vale o “Princípio da Equipartição da Energia”, aplicável a vários sistemas termodinâmicos ideais monoatômicos, ou seja, composto por átomos individuais de apenas um tipo, como o gás hélio (He), por exemplo, em que a energia térmica pode ser representada matematicamente por (Chaves; Sampaio, 2007, p. 183)

$$E_T = 3N \frac{k_B T}{2}, \quad (2)$$

em que $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ representa a constante de Boltzmann, N corresponde ao número de partículas do sistema, T corresponde à temperatura absoluta do sistema e o número “3” corresponde ao número de graus de liberdade por partícula do sistema, para sistemas tridimensionais mais simples, composto por partículas pontuais com apenas três graus de liberdade associados ao movimento de translação apenas.

Esse tipo de energia está associado apenas às energias cinéticas médias das partículas constituintes do corpo. Essas energias cinéticas médias estão associadas às movimentações translacionais, vibracionais e rotacionais das moléculas constituintes. No entanto, para associar a energia do corpo de forma integral, abrangendo todos os tipos de energias possíveis, tanto as cinéticas quanto as energias potenciais de interação, entre outras, é necessário usar o conceito de energia interna, U . Matematicamente, para um gás ideal monoatômico é dada por (Chaves; Sampaio, 2007, p. 184)

$$U = 3N \frac{k_B T}{2} = 3n \frac{RT}{2} \quad (3)$$

em que n é a quantidade de matéria do gás, medida em número de mols, que relaciona a massa, m , de uma substância à sua massa molar, M , e R é a constante universal dos gases ideais, cujo valor é aproximadamente igual a $8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

A *energia mecânica*, E , é uma forma de energia associada ao movimento e à posição dos objetos. Ela pode ser dividida em duas categorias: *energia cinética* e *energia potencial*. Em outras palavras, ela corresponde a soma das energias cinética e potencial do corpo. Na forma matemática (Taylor, 2013, p. 105)

$$E = K + U(\mathbf{r}'), \quad (4)$$

em que K representa a energia cinética e $U(\mathbf{r}')$ corresponde à energia potencial em um ponto arbitrário \mathbf{r}' correspondente a uma dada força conservativa. No caso geral de movimento em três dimensões, energia potencial é expressa por (Taylor, 2013, p. 111; Chaves; Sampaio, 2012, p. 160)

$$U(\mathbf{r}') = - \int_{r_0}^r \mathbf{F}(\mathbf{r}') \cdot d\mathbf{r}', \quad (5)$$

em que $\mathbf{F}(\mathbf{r}')$ é uma força conservativa (*força peso*, *interações elétricas* ou *força elástica*, por exemplo) atuando sobre uma partícula e que depende apenas da posição da mesma em relação a um referencial e v corresponde ao módulo do vetor velocidade \mathbf{v} .

A energia cinética está relacionada ao movimento de um objeto em relação a um dado referencial e depende de sua massa e velocidade. Mais precisamente, a energia cinética de um corpo é diretamente proporcional ao produto de sua massa pelo quadrado do módulo de sua velocidade, dividido por dois. Matematicamente, a energia cinética é definida por (Taylor, 2013, p. 105)

$$K \equiv \frac{mv^2}{2}, \quad (6)$$

em que m representa a massa e v corresponde ao módulo do vetor velocidade.

Um outro conceito muito importante na Física é o de *trabalho*, W . Este trata-se de uma quantidade física escalar que representa a variação (transformação ou transferência) de uma energia por meio da aplicação de uma força ao longo de um deslocamento. Conforme Chaves (2007a), no limite infinitesimal, o trabalho pode ser expresso matematicamente por (Chaves; Sampaio, 2012, p. 141)

$$W = \int_C \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{r}, \quad (7)$$

em que \mathbf{F}_i é o vetor força e $d\mathbf{r}$ são os deslocamentos infinitesimais ao longo da curva C .

A energia cinética e o trabalho estão intimamente relacionados no estudo da Física. Segundo o Teorema do Trabalho e Energia Cinética, o trabalho realizado sobre um objeto é igual à variação da energia cinética do mesmo. Isso significa que, ao aplicar uma força em um objeto e movê-lo ao longo de um deslocamento, estamos realizando trabalho sobre ele, transferindo energia e alterando sua energia cinética. Portanto, a energia cinética de um objeto é diretamente influenciada pelo trabalho realizado sobre ele, demonstrando a relação íntima entre essas duas grandezas físicas. Matematicamente, este teorema é expresso por (Taylor, 2013, p. 108)

$$\Delta K \equiv K_2 - K_1 = \int_1^2 \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} \equiv W_{(1 \rightarrow 2)}, \quad (8)$$

em que $W_{(1 \rightarrow 2)}$ é o trabalho realizado pelo vetor força \mathbf{F} indo do ponto 1 ao ponto 2 e ΔK é a variação da energia cinética. Este resultado é o Teorema Trabalho-Energia Cinética.

Contudo, quando consideramos sistemas físicos nessas interações, podemos classificá-los como sistemas *dissipativos* ou *conservativos*. Sistemas dissipativos (sistemas reais) são aqueles em que ocorre uma dissipação de energia mecânica para outras formas de energia degradada, como calor, som ou deformação. Nesses sistemas, a energia mecânica total diminui ao longo do tempo devido a forças dissipativas, como atrito, resistência do ar ou fricção interna. Exemplos comuns de sistemas dissipativos são um objeto deslizando em uma superfície rugosa ou um pêndulo oscilando em um fluido viscoso (Taylor, 2013; Chaves; Sampaio, 2012; Nussenzveig, 2014a).

Por outro lado, sistemas conservativos (sistemas ideais) são aqueles em que a energia mecânica total é preservada ou conservada. Nesses sistemas, a energia mecânica pode ser transformada de uma forma para outra, mas a energia total permanece constante. Exemplos de sistemas conservativos incluem um objeto em queda livre sob a ação exclusiva da gravidade, um pêndulo ideal sem atrito e uma mola ideal sem perdas de energia. Nessas situações, a energia mecânica é convertida entre energia cinética e energia potencial, mantendo a soma total constante.

Essa situação é conhecida como *Princípio da Conservação da Energia Mecânica* que pode ser generalizado para o caso de n forças conservativas atuando um corpo. Taylor (2013, p. 114) afirma que “se todas as n forças \mathbf{F}_i ($i = 1, \dots, n$) agindo sobre uma partícula forem conservativas, cada uma com a correspondente energia potencial $U_i(\mathbf{r}')$, a **energia mecânica total**, definida como $E \equiv K + U(\mathbf{r}') \equiv K + U_1(\mathbf{r}') + \dots + U_n(\mathbf{r}')$, é constante no tempo”.

3.8.1.2 Temperatura

Para descrever fenômenos físicos é necessário considerar uma certa porção da matéria de denominado *sistema*. Todo sistema é delimitado pelas suas *fronteiras*. O *ambiente* ou *vizinhança* do sistema é a região do espaço que interage com o sistema através das suas fronteiras (Luiz; Gouveia, 2006).

Segundo Gomes, Forato e Silva (2012), a noção de temperatura tem raízes profundas na história, indo além da simples medição de calor. Segundo os autores, tal palavra é derivada do latim "temperare", que significa "misturar", essa palavra era originalmente usada por figuras como Hipócrates (460 a. C. – 370 a. C.) e Galeno (133 a. C. – 200 a. C.) para descrever a interação entre líquidos e até mesmo os estados emocionais das pessoas. A ideia de temperatura como calor e frio também se desenvolveu gradualmente, com debates entre filósofos naturais e cientistas nos séculos XVII e XIX, refletindo a complexidade subjacente a esse conceito.

Portanto, apesar do conceito de *temperatura* ter uma origem antrópica devido as sensações de “quente” e “frio” que foram desde sempre experimentadas pelo corpo humano, e com o advento das ciências naturais, procurou-se dar a essa distinção subjetiva entre “quente” e “frio” um caráter quantitativo (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998).

Com isso, a *temperatura* pode ser entendida, segundo Guémez, Fiolhais e Fiolhais (1998) como sendo a propriedade dos sistemas termodinâmicos que permite quantificar as noções táteis de “quente” e “frio”. Ou seja, pode-se dizer que ela é a grandeza física que se mede com um termômetro. No entanto, esta definição é tautológica, pois um termômetro se

define como um instrumento para medir a temperatura. Além disso, verifica-se que as medidas obtidas com um termômetro arbitrário não têm um significado físico coerente. Ou seja, diferentes termômetros indicam temperaturas diferentes para o mesmo corpo no mesmo estado. Assim, com o objetivo de tornar o conceito de temperatura rigorosamente operacional, a temperatura passa a ser definida como a propriedade que indica a existência ou não de equilíbrio térmico entre os corpos. Já para Luiz e Gouveia (2006), a temperatura de um sistema físico é uma grandeza macroscópica que indica o grau de aquecimento do sistema.

Na Termodinâmica, segundo consta em Guémez, Fiolhais e Fiolhais (1998), a temperatura é introduzida por meio do conceito de “equilíbrio térmico” e a consistência de sua definição pressupõe a chamada “Lei Zero da Termodinâmica”. Esta lei física afirma que se dois sistemas físicos, A e B, em contato térmico entre si, estão em equilíbrio térmico com um terceiro sistema físico, C, então os sistemas A e B estão em equilíbrio térmico entre si. Ou seja, dizemos que todos os sistemas em equilíbrio térmico com um sistema de referência têm em comum o valor de uma propriedade: a temperatura. Um termômetro em equilíbrio térmico com um sistema registra a temperatura deste, pois está baseado na “Lei Zero da Termodinâmica”.

Conforme Guémez, Fiolhais e Fiolhais (1998, p. 42), uma formulação mais moderna para a Lei Zero da Termodinâmica pode ser enunciada da seguinte forma “*existe uma grandeza física escalar, denominada temperatura, que é uma propriedade intensiva dos sistemas termodinâmicos em equilíbrio, tal que a igualdade da temperatura é a condição necessária e suficiente de equilíbrio térmico*”. No entanto, outra definição bastante interessante é que “*chamamos de temperatura a condição que permite prever o sentido do trânsito do calor. Esse sentido sempre é de um corpo de temperatura mais elevada para um corpo de temperatura menos elevada*” (Axt; Bruckmann, 1989, p. 141). Portanto, a temperatura de um corpo é uma grandeza física que tem a capacidade de dizer se esse corpo, quando colocado em contato térmico com outro de temperatura distinta, poderá ceder ou receber energia na forma de calor. Dito isto, conclui-se que não é o fato do corpo ter uma energia interna elevada que fará com que ele ceda calor, por exemplo, mas sim se sua temperatura é maior do que a temperatura do corpo que estiver em contato térmico com ele.

A medição da temperatura, como já dito, faz-se com termômetros, cujos princípios e técnicas de funcionamento são objetos de estudo da Termometria. Há vários tipos de termômetros, mas todos eles são caracterizados por uma propriedade facilmente mensurável, que varia com a temperatura e é, por isso, chamada *propriedade termométrica* ou *grandeza termométrica*. No caso dos termômetros de líquido, muito conhecido devido à sua utilização cotidiana em meteorologia, no diagnóstico médico etc., a propriedade termométrica é o *volume*

de líquido encerrado no vidro, geralmente o mercúrio ou álcool, que foram as primeiras substâncias utilizadas e possuem alta precisão. A água não é uma boa substância termométrica, pois além de congelar a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (em relação ao nível do mar), a razão principal de sua inutilidade para este tipo de termômetro é a variação não monótona do volume da água com a temperatura (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Chaves; Sampaio, 2007).

Chaves e Sampaio (2007) diz que esse tipo de termômetro consiste em um bulbo de vidro ligado a uma coluna de secção uniforme e muito pequena fechada na sua extremidade, no qual contém um certo volume de mercúrio ou álcool (Figura 25) que sofre aumento com o aumento da temperatura e, conseqüentemente, considerável aumento na altura da coluna de líquido encerrado no vidro do termômetro, por menor que seja o aumento de temperatura sofrido. E é essa altura X que é considerada como grandeza termométrica. A leitura da temperatura irá depender exclusivamente do estabelecimento prévio de uma relação de correspondência entre essa altura X da coluna do líquido com a temperatura propriamente dita, ou seja

Figura 25 – Representação esquemática de um termômetro de mercúrio.



Fonte: Chaves e Sampaio (2007, p. 122).

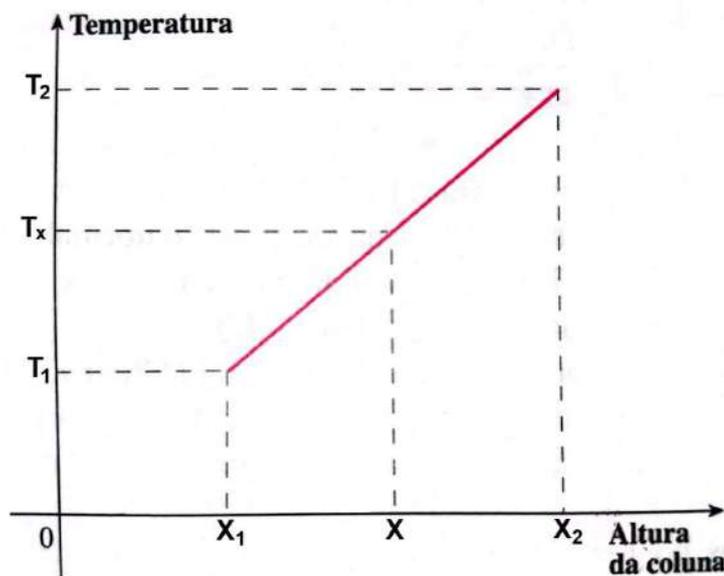
Associado às escalas medições de temperaturas tem-se as escalas termométricas, que nada mais são do que escalas de medição cruciais tanto na Ciência e quanto na vida cotidiana. Elas ajudam a quantificar e compreender conceitos e fenômenos físicos associados à Termologia, como temperatura e equilíbrio térmico. Essas escalas possuem uma relação de correspondência convencional de forma arbitrária que parte do conceito de pontos de temperaturas fixos, ou simplesmente pontos fixos, que são valores de temperaturas de fusão do

gelo e de ebulição da água, ambas medidas em relação ao nível do mar, e que são universalmente utilizados nas escalas (Chaves; Sampaio, 2007).

Além disso os pontos fixos de temperatura representam estados termodinâmicos de um sistema físico, conforme afirma Chaves e Sampaio (2007, p. 122), “[...] pontos de temperaturas fixos, ou pontos fixos, são estados termodinâmicos especiais selecionados para se definir uma escala de temperatura”.

Pode-se relacionar os valores da altura X da coluna do líquido com as respectivas temperaturas por meio de uma função termométrica, que normalmente é uma função matemática de primeiro grau. Segundo Carron e Guimarães (1997), a relação termométrica entre uma determinada escala de temperatura e a altura da coluna do líquido de um termômetro pode ser obtida a partir da análise do gráfico da Figura 26 abaixo. Essa mesma lógica pode ser utilizada para relacionar as temperaturas entre duas escalas distintas, conforme Eq. (9) a seguir.

Figura 26 – Gráfico da temperatura (em qualquer escala) em função da altura da coluna de dentro do termômetro.



Fonte: Adaptado de Carron e Guimarães (1997, p. 263).

Do gráfico, temos que

$$\frac{T_X - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} \quad (9)$$

Portanto, isolando-se T_X (Carron; Guimarães, 1997, p. 263) tem-se que

$$T_X = \frac{T_2 - T_1}{X_2 - X_1} (X - X_1) + T_1 \quad (10)$$

As três das escalas mais comuns para medir temperatura são as escalas Celsius (°C), Fahrenheit (°F) e Kelvin (K) (Carron; Guimarães, 1997; Chaves; Sampaio, 2007; Nussenzveig, 2014b; Torres *et al.*, 2016b). Uma observação importante é que a unidade de medida da temperatura absoluta não possui o “grau”. Neste breve texto, são exploradas as diferenças entre essas três escalas e como elas se relacionam e são usadas.

A escala Celsius é uma das mais conhecidas e amplamente usadas em todo o mundo. Ela é baseada nos pontos fixos: 0 °C (temperatura de fusão do gelo) e 100 °C (temperatura de ebulição da água) sob pressão atmosférica ao nível do mar. Ela é usada em muitos países para medir a temperatura do clima durante o dia a dia e em laboratórios para experimentos científicos. A água é usada como referência para estipular os pontos fixos dessas escalas pois ela representa uma substância muito abundante no planeta Terra (Godoy; Dell’Agnolo; Melo, 2020; Carron; Guimarães, 1997).

De acordo com Chaves e Sampaio (2007, p. 122), Carron e Guimarães (1997, p. 265) e Guémez, Fiolhais e Fiolhais (1998, p. 55), a relação de linearidade entre a variação de altura da coluna de líquido encerrado no vidro do termômetro e a temperatura, é dada por

$$T_C = \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} 100 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (11)$$

em que X_1 e X_2 são os comprimentos da coluna do líquido (mercúrio ou álcool) associados respectivamente aos dois pontos fixos de temperatura 0 °C e 100 °C. Com isso, observa-se que a expressão indica uma relação linear entre as duas grandezas: temperatura e altura.

Em contrapartida, a escala Fahrenheit é principalmente utilizada em países de língua inglesa, como Estados Unidos, Inglaterra, Austrália, Guiana Inglesa etc. Seus pontos fixos também são baseados nos pontos de fusão do gelo e ebulição da água: 32 °F (temperatura de fusão do gelo) e 212 °F (temperatura de ebulição da água), sob condição de pressão atmosférica ao nível do mar. Embora menos comum em comparação com a escala Celsius, esta escala ainda é amplamente empregada nos Estados Unidos para informações meteorológicas diárias e em algumas atividades industriais (Torres *et al.*, 2016b). De acordo com Chaves e Sampaio (2007, p. 122) e Carron e Guimarães (1997, p. 265), a relação de linearidade entre a variação de altura da coluna de líquido encerrado no vidro do termômetro e a temperatura, é dada por

$$T_F = 32 \text{ }^\circ\text{F} + \frac{X - X_1}{X_2 - X_1} 180 \text{ }^\circ\text{F}, \quad (12)$$

em que X_1 e X_2 são os comprimentos da coluna do líquido (mercúrio ou álcool) associados respectivamente aos dois pontos fixos de temperatura 32 °F e 180 °F. Com isso, observa-se que a expressão indica uma relação linear entre as duas grandezas: temperatura e altura.

A partir das equações Eq. (11) e Eq. (12), pode-se notar uma relação entre as escalas Celsius e Fahrenheit. Essa relação é dada matematicamente por (Chaves; Sampaio, 2007, 123)

$$T_F = 32 \text{ }^\circ\text{F} + \frac{180 \text{ }^\circ\text{F}}{100 \text{ }^\circ\text{C}} T_C \quad (13)$$

Já a escala Kelvin é a escala termométrica absoluta (chamada assim por não indicar números negativos para temperaturas, ao contrário das outras duas supracitadas) mais amplamente aceita na Ciência e na Indústria. Ela é baseada na escala Celsius, contudo começa no zero absoluto. A escala Kelvin é fundamental em áreas como Física, Química, Engenharia e Astronomia (Carron; Guimarães, 1997). Da mesma forma, as escalas Celsius e Kelvin também se relacionam. De acordo com Chaves e Sampaio (2007, p. 125) “*A correspondência entre as escalas Celsius e Kelvin é dada por $0 \text{ }^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$ e $100 \text{ }^\circ\text{C} = 373,15 \text{ K}$ ”.*

A partir dessa correspondência, pode-se notar que cada acréscimo de 1 °C equivale a um acréscimo de 1 K, o que implica que essas duas escalas possuem as mesmas variações numérica de temperatura, visto que elas possuem exatamente 100 unidades de divisão entre seus (Luiz; Gouveia, 2006) pontos fixos, diferindo entre si apenas por um deslocamento constante, ao contrário da escala Fahrenheit que possui 180 divisões entre seus pontos fixos. A relação matemática entre ambas é dada por Chaves e Sampaio (2007, p. 125), Oliveira (2005, p. 18) e Guémez, Fiolhais e Fiolhais (1998, p. 56)

$$T_K = T_C + 273,15 \text{ K} \quad (13)$$

O zero absoluto (0 K), por sua vez, é a temperatura mais baixa possível, na qual todas as partículas estão em repouso térmico absoluto, ao qual corresponde ao valor de temperatura em que todos os átomos da matéria estariam em completo e absoluto repouso (totalmente imóveis) umas em relação as outras ou a quaisquer referenciais, resultando na total inexistência de movimentos atômicos e moleculares, levando à hipótese de que a energia cinética média

total dessas partículas (energia térmica) seria nula, o que violaria um princípio fundamental da Segunda Lei da Termodinâmica (Correia; Soares, 2022; Godoy; Dell’Agnolo; Melo, 2020; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Luiz; Gouveia, 2006) no qual afirma que a energia não pode ser criada e nem destruída, mas sim convertida de uma forma para outra ou transferida de uma região para outra. Portanto, torna-se um ponto inatingível de temperatura, tal qual é com o rendimento máximo das máquinas térmicas ideais de Carnot, ou seja, ambos existem na teoria mais são inatingíveis na prática.

Foi em 1925 que o físico alemão Albert Einstein (1879 – 1955) e também o físico indiano Satyendra Nath Bose (1894 – 1974) constataram isso por meio de cálculos e previsões teóricas de que, em temperaturas muito próximas ao zero absoluto, mais precisamente na ordem de 450 pK, a maior parcela dos átomos atingiria o menor estado de energia possível, evidenciando alguns estranhos fenômenos físicos pudessem ser observados em materiais, denominados *Condensado de Bose-Einstein*, em escalas macroscópicas.

Um desses fenômenos inusitados é a *superfluididez*, que consiste em fluidos capazes de escoar espontaneamente para fora do recipiente que o contém. Outros materiais, como nióbio e titânio, por exemplo, sob as mesmas condições evidenciam propriedades supercondutoras, caracterizando um fenômeno de supercondutividade. No entanto, essas previsões só foram confirmadas experimentalmente em 1995 (Godoy; Dell’Agnolo; Melo, 2020). Portanto, o zero absoluto é apenas simbólico e representativo, visto que é impossível atingi-lo na prática, seja na Natureza ou em experimentos laboratoriais sofisticados. O máximo que se consegue é chegar bem próximo a ele, mas sem atingi-lo (Godoy; Dell’Agnolo; Melo, 2020).

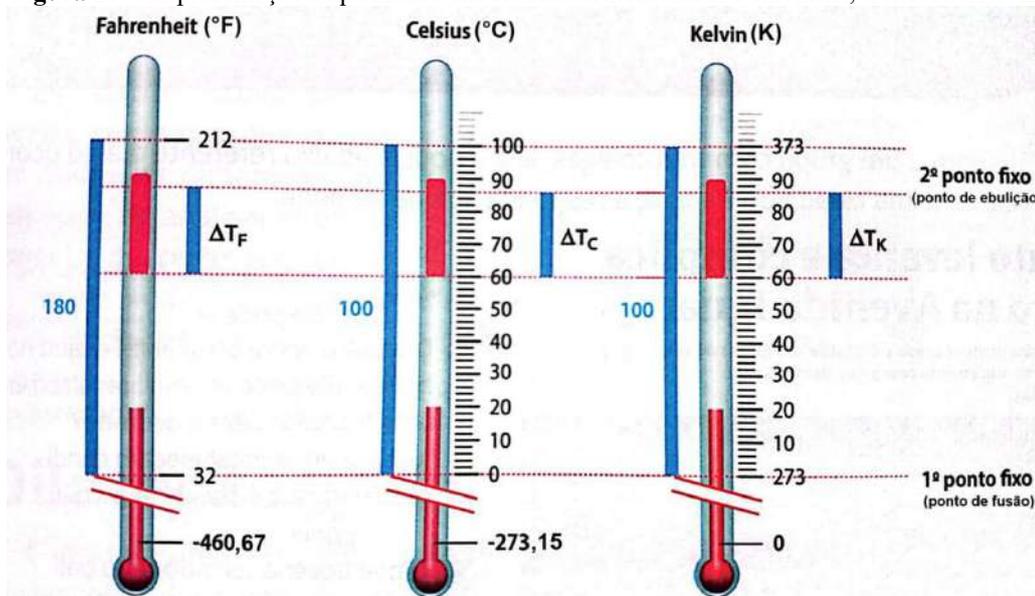
O valor correspondente do zero absoluto na escala Celsius é $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Correia; Soares, 2022; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998) e o mais perto que se tem registrado disso atualmente na Natureza é na Nebulosa do Bumerangue, cujo valor é de aproximadamente $272,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ negativos, devido a uma nuvem de gás que está sendo expelida por uma estrela que está “*morrendo*” (Woo, 2014). No entanto, o resultado mais recente realmente mais próximo do zero absoluto já atingido no Universo ocorreu no planeta Terra e foi por meio das mãos humanas, em que Correia e Soares (2022, online), em uma matéria publicada no site Olhar Digital, afirmam que um grupo de

Pesquisadores da Universidade Rice, nos EUA, e da Universidade de Kyoto, no Japão, atingiram, em laboratório, uma temperatura três bilhões de vezes mais fria do que qualquer uma já aferida no cosmos: eles ficaram a um bilionésimo de um grau de atingir o zero absoluto na escala Kelvin, ou seja, $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Correia; Soares, 2022, online).

Os resultados obtidos por essa pesquisa foram publicados na revista científica *Nature Physics* (Correia; Soares, 2022). Esse resultado foi mais próximo do zero absoluto do que o previsto teoricamente por Einstein e Bose em 1925.

Como dito acima, as escalas termométricas possuem um limite inferior para temperaturas, que é o zero absoluto. Contudo, não existe tal limite para temperaturas superiores, podendo haver temperaturas na casa do milhões, até bilhões de graus Celsius (Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007). A seguir, a Figura 27 esquematiza a relação entre as três principais escalas termométricas supracitadas, incluindo o zero absoluto respectivo em cada uma delas.

Figura 27 – Representação esquemática das escalas termométricas Fahrenheit, Celsius e Kelvin.



Fonte: Adaptado de Godoy, Dell’Agnolo e Melo (2020, p. 65)

3.8.1.3 Sistema Termodinâmico

A Termodinâmica é uma área de estudo da Física essencial no estudo das transformações energéticas e materiais, desempenhando um importantíssimo papel na compreensão de fenômenos naturais e no desenvolvimento de tecnologias.

Os *sistemas termodinâmicos* são uma parte essencial desse campo de estudo dos fenômenos térmicos, e compreender suas características é indispensável para uma melhor percepção e análise de processos energéticos e as leis que os regem (Carron; Guimarães, 1997; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Luiz; Gouveia, 2006).

Na Termodinâmica, por sua vez, um sistema é uma região do espaço escolhida para estudo do fenômeno em si, a qual é isolada do restante do “universo” (meio externo + sistema) por meio de uma fronteira ou superfície imaginária que faz a delimitação daquilo que será estudado de fato com o que não será estudado. Essa fronteira define o limite do sistema, separando-o do meio externo, permitindo a análise das trocas de energia e matéria que ocorrem através dela.

O conjunto formado pelo sistema e sua fronteira é chamado de *sistema termodinâmico* (Carron; Guimarães, 1997; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Luiz; Gouveia, 2006). Corroborando com o que foi dito, pode-se tomar a seguinte definição presente no excelente livro “Fundamentos de Termodinâmica do Equilíbrio”

Designa-se por sistema termodinâmico uma região macroscópica limitada por uma fronteira, real ou abstrata. O que fica fora do sistema, e que pode interagir com este, chama-se vizinhança ou meio exterior. O conjunto do sistema e vizinhança é o universo. Quando a fronteira que limita o sistema é real designa-se por parede. Um sistema pode ser, por sua vez, subsistema de um outro maior, ou estar ele próprio dividido em subsistemas (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998, p. 16).

Logo, a *vizinhança* de um sistema termodinâmico é a parte do espaço adjacente à fronteira do sistema onde ocorrem as interações entre o sistema e o *meio externo*. Ou seja, a vizinhança faz parte do meio externo, porém é a região mais próxima às fronteiras do sistema. É importante entender que a escolha da fronteira e a definição da vizinhança são conceitos relativos, dependendo do contexto do problema.

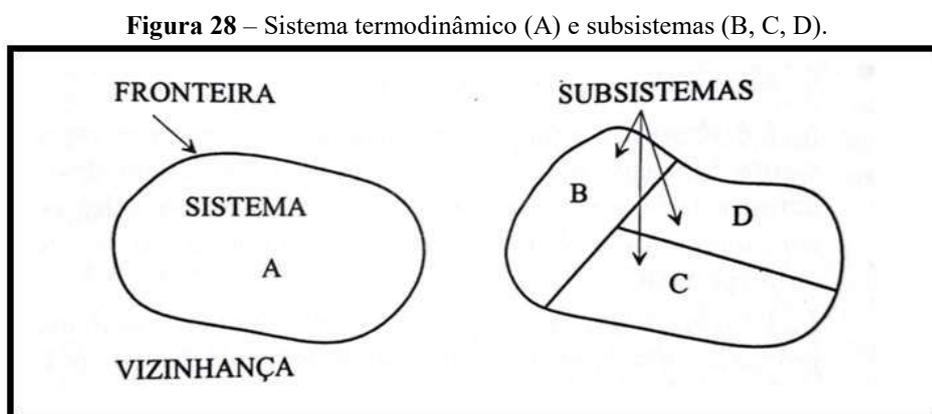
O *meio externo*, por sua vez, é tudo o que está fora do sistema e da vizinhança. Pode incluir outras partes do ambiente que não interagem diretamente com o sistema em questão (Carron; Guimarães, 1997; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Luiz; Gouveia, 2006). Contudo, a priori, pode-se dizer que

Um sistema termodinâmico pode interagir, em princípio, com a sua vizinhança. Sistemas (ou subsistemas) podem também, em princípio, interagir uns com os outros. Assim, observa-se experimentalmente que as variações das propriedades físicas de um sistema podem induzir variações nas propriedades físicas de outros (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998, p. 16).

Dito isso, o meio externo fornece ou retira energia e/ou matéria do sistema a depender do processo físico que está ocorrendo, influenciando seu comportamento (Carron; Guimarães, 1997; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Luiz; Gouveia, 2006).

Guémez, Fiolhais e Fiolhais (1998) afirmam que essas interações ocorridas entre sistemas termodinâmicos distintos, denominadas por “*contatos termodinâmicos*”⁵, além da natureza dos sistemas, dependem também do tipo de superfícies separadoras. Segundo os autores, na ausência de contato termodinâmico entre os sistemas e sua vizinhança, o mesmo é definido como *sistema isolado* e, neste caso, não pode entrar e nem sair energia e nem matéria desse sistema. Ou seja, só é possível haver trocas de calor ou realização de trabalho entre um sistema e outro, ou entre um sistema e o meio externo, se não houver isolamento entre eles.

A seguir, a Figura 28 ilustra um sistema termodinâmico e alguns subsistemas.



Fonte: Guémez, Fiolhais e Fiolhais (1998, p. 16).

Para Guémez, Fiolhais e Fiolhais (1998), do ponto de vista da Termodinâmica, um sistema termodinâmico pode ser bem caracterizado e definido quando se conhecem as suas particularidades físico-químicas, bem como de suas paredes que separam os diferentes subsistemas entre si e todo o sistema do meio externo.

No caso particular da **panela de pressão** durante o cozimento dos alimentos, a mesma e tudo que estiver dentro dela, como água líquida, vapor de água, alimentos etc., e até mesmo suas partes, como a tampa, a válvula reguladora, a válvula de segurança e o recipiente, é considerado um sistema termodinâmico (Figura 29). Já seus contornos externos (paredes da panela) são a fronteira desse sistema e tudo além dela é o meio externo. A região adjacente à fronteira, tanto pela parte de dentro quanto de fora da panela, é chamada de vizinhança do sistema.

É por essa região, e através da fronteira, que ocorrem as trocas de energia com o meio externo (ar) na forma de calor, quando a panela recebe energia térmica do fogo e também

⁵ É um conceito termodinâmico que representa quando dois ou mais sistemas físicos podem trocar energia na forma de calor entre eles (Nussenzeig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Luiz; Gouveia, 2006).

quando ela perde um pouco energia para o ambiente, devido à diferença de temperatura com o mesmo. Além disso, outra forma de troca de energia com o ambiente se dá por meio da realização de trabalho termodinâmico do sistema sobre o meio externo, devido à expansão gasosa dos vapores ao saírem pela válvula reguladora (subsistema termodinâmico) após ela se deslocar verticalmente para cima, fazendo com que parte da energia interna do sistema seja dissipada para o ambiente na forma de trabalho termodinâmico, levando à estabilização da pressão e temperatura interna do sistema (panela de pressão) e um cozimento controlado dos alimentos em seu interior.

Tudo que engloba meio externo (ar e tudo para além da panela de pressão) e sistema termodinâmico (panela de pressão e tudo dentro dela) é chamado de universo. O conteúdo da panela de pressão bem como suas partes e componentes físicos são subsistemas de um sistema termodinâmico maior: a própria panela de pressão.

Existem três tipos principais de sistemas termodinâmicos (Carron; Guimarães, 1997; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Luiz; Gouveia, 2006), conforme apresentados no Quadro 3 a seguir.

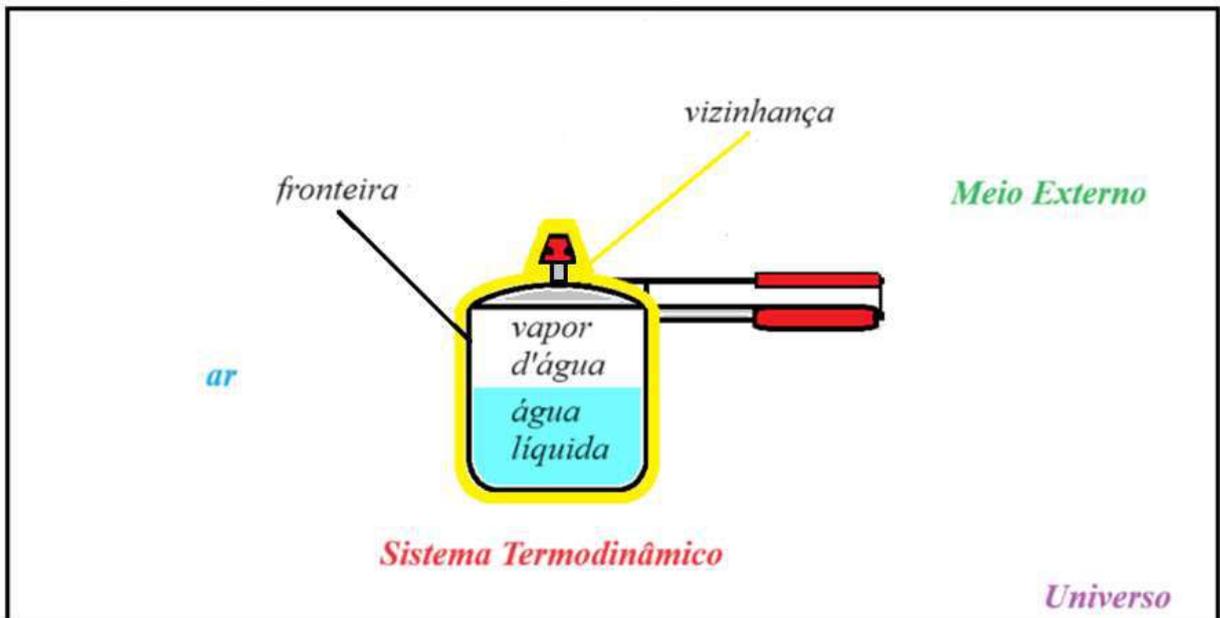
Quadro 3 – Descrição qualitativa dos tipos de sistemas físicos.

Tipo	Descrição
Sistema Aberto	Nesse tipo de sistema, tanto a energia quanto a matéria podem ser trocadas com suas vizinhanças. Um exemplo típico é uma caldeira em que água é aquecida e vapor é liberado para a atmosfera enquanto a água líquida é constantemente alimentada.
Sistema Fechado	Nesse caso, apenas a energia pode ser trocada com suas vizinhanças, enquanto a matéria não pode ser trocada. Um cilindro fechado contendo um gás é um exemplo clássico de sistema fechado, onde o gás pode ser aquecido ou resfriado, mas não entra nem sai do cilindro.
Sistema Isolado	Este é um sistema que não troca energia nem matéria com suas vizinhanças. Um termo utilizado para descrever um sistema isolado é "adiabático", indicando que não há energia sendo transferida na forma de calor. O exemplo clássico e mais próximo de um recipiente "perfeitamente" isolado é uma garrafa térmica bem selada. No entanto, sistemas isolados são ideais, não existem na Natureza.

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir de dados da pesquisa.

A imagem na Figura 29 abaixo ilustra uma esquematização sobre isso, em que a região amarelada é a vizinhança do sistema termodinâmico (panela de pressão), a linha azul que contorna o desenho da panela é a fronteira (paredes da panela de pressão).

Figura 29 – Representação esquemática da panela de pressão como um sistema termodinâmico.



Fonte: Produzido pelo Autor (2024).

Inicialmente a panela de pressão é um sistema termodinâmico do tipo fechado, uma vez que não escapam vapores pelos orifícios da válvula reguladora de pressão para além das fronteiras desse sistema. No entanto, durante o momento em que a válvula de controle é acionada e permite a passagem dos vapores do interior da panela (sistema) para o exterior (meio externo), ela passa a ser um sistema termodinâmico aberto. Ou seja, é um sistema que troca apenas energia com suas vizinhanças.

3.8.1.4 Processo Termodinâmico

Na Termodinâmica, além dos sistemas termodinâmicos, tem-se os estados e processos termodinâmicos, que são tão essenciais quanto os sistemas termodinâmicos para um estudo aprofundado dos fenômenos térmicos.

Um *estado termodinâmico* consiste em uma descrição das condições físico-químicas de um sistema termodinâmico em um instante específico. Ele é caracterizado por um conjunto específico de propriedades termodinâmicas, físicas e químicas, conhecidas como *variáveis termodinâmicas*, que podem ser classificadas como *extensivas* ou *intensivas*, e que definem o estado desse sistema, independente do processo que resultou ao estado atual (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006).

Segundo Guémez, Fiolhais e Fiolhais (1998), Luiz e Gouveia (2006), Chaves e Sampaio (2007), Oliveira (2005) e Nussenzveig (2014b), as *variáveis termodinâmicas extensivas* são variáveis globais designadas pelas grandezas caracterizadas por sua aditividade, no sentido de que seu valor no sistema corresponde à soma dos seus valores em qualquer conjunto de subsistemas nos quais o sistema se decomponha. Ou seja, são as grandezas físico-químicas cujo valor depende da quantidade total de substância do sistema ou da extensão (tamanho) do mesmo.

Exemplos desse tipo de grandeza são a massa, o volume, a entropia, o número de partículas ou mols, e a energia interna total do sistema. Por exemplo, a massa de um volume de 5 L de água não é igual a massa de um volume de 20 L de água. Neste caso, a grandeza depende da extensão do sistema em consideração.

Em contrapartida, as *variáveis termodinâmicas intensivas* são designadas pelas variáveis caracterizadas por estarem bem definidas em cada pequena região do sistema termodinâmico. Ou seja, são aquelas grandezas cujo valor não depende da quantidade de substância ou da extensão do sistema. Elas são independentes do tamanho do sistema e são características específicas do estado do sistema. Exemplos deste tipo de variável que caracterizam estados de equilíbrio termodinâmico são a pressão, a densidade e a temperatura do sistema (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006).

A densidade da água, por exemplo, independe de sua quantidade, uma vez que a densidade de 10 mL de água e de 10.000 L de água é exatamente a mesma. De tal maneira, a temperatura no equilíbrio térmico de 10 mL de água é exatamente igual a de 10.000 L de água, independentemente da quantidade de água.

Contudo, as transformações físicas ocorridas na Natureza dependem de determinados processos físicos. No âmbito científico da Termodinâmica, que visa compreender os fenômenos térmicos, os *processos termodinâmicos* são transformações ocorridas em um sistema termodinâmico quando um estado de equilíbrio termodinâmico é levado à outro, no qual as propriedades do sistema sofrem variações (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006). Segundo os autores, quando os estados inicial e final coincidem, o processo é denominado cíclico. Além disso, os processos termodinâmicos podem ser classificados em dois tipos: *quase-estáticos* e *não quase-estáticos*.

Os *processos quase-estáticos* são processos que ocorrem variações de volume ou energia interna de forma extremamente lenta. Neste tipo de processo o sistema, por variar muito

lentamente, os estados termodinâmicos intermediários são de equilíbrio, ou seja, o sistema tem tempo de se reajustar às novas condições impostas (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006).

Em contrapartida, os *processos não quase-estáticos* são processos que ocorrem variações de volume ou energia interna de forma abrupta, ou seja, extremamente rápida. Os processos termodinâmicos podem ser categorizados em dois tipos: *reversíveis* e *irreversíveis* (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006).

Os *processos termodinâmicos reversíveis* são transformações que ocorrem de forma espontânea na Natureza e podem se dar em sentido reverso a qualquer momento, sem que haja alterações permanentes no sistema termodinâmico considerado. Durante este tipo de processo o sistema permanece em equilíbrio termodinâmico com sua vizinhança. A temperatura e a pressão do sistema e de sua vizinhança são infinitesimalmente próximas, ou seja, não há diferença de temperatura e pressão ao longo do processo em questão (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006).

Apesar de serem ideais, visto que não ocorrem na realidade devido a dificuldades em manter condições de equilíbrio perfeito durante as transformações, os processos reversíveis são modelos úteis no estudo termodinâmico da natureza. Ademais, todos os processos termodinâmicos reversíveis são quase-estáticos (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006).

Já os *processos termodinâmicos irreversíveis* são transformações ocorridas espontaneamente e não podem ocorrer no sentido inverso sem que haja um agente externo atuando significativamente com um fornecimento de energia na forma de fornecimento de calor ou realização de trabalho sobre o sistema para forçar essa reversibilidade (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006).

Durante esses tipos de processos o sistema termodinâmico e sua vizinhança não se encontram em equilíbrio termodinâmico entre si, visto que as condições do sistema podem sofrer variações significativas ao longo de todo o processo (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006).

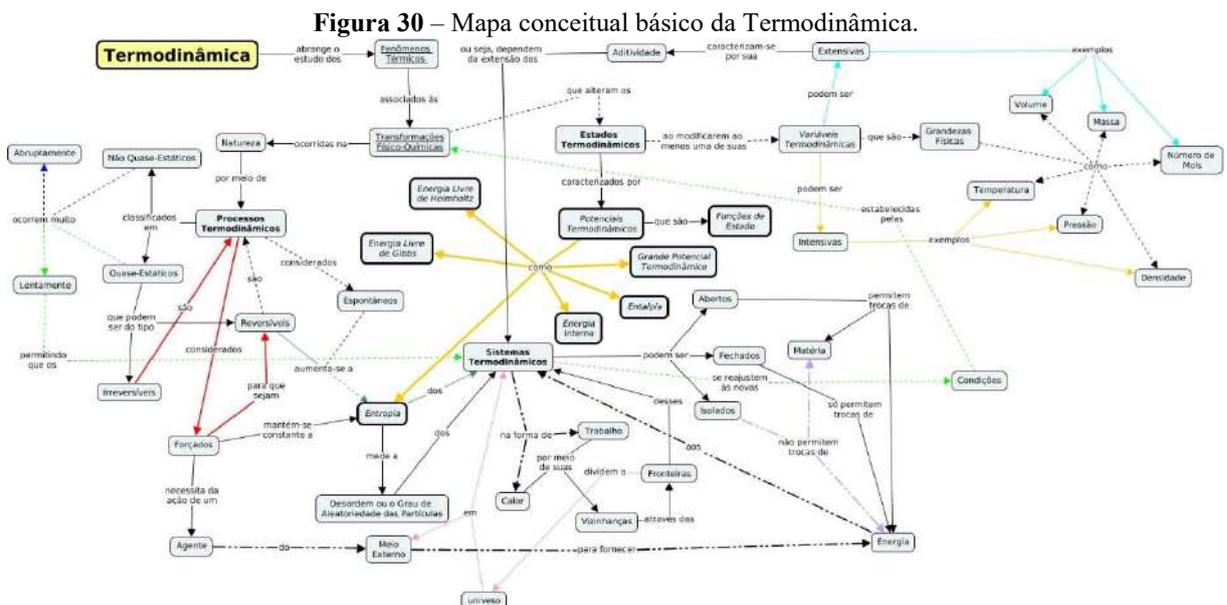
Todos os processos reais, ou seja, que ocorrem normalmente na Natureza, são do tipo irreversível, uma vez que devido à existência de atrito, há uma dissipação de energia útil em outras formas de energia degradadas, como a energia térmica ou sonora, evidenciando a

irreversibilidade intrínseca dos processos. Durante estes processos o sistema vai passando por sucessivos estados termodinâmicos intermediários de equilíbrio, mas sem a possibilidade de reversibilidade (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006).

A diferença principal entre esses dois processos termodinâmicos se dá pela capacidade que um tem em reverter a transformação, passando exatamente pelos mesmos estados termodinâmicos intermediários de equilíbrio, sem que haja alterações permanentes no sistema, enquanto que o outro não tem essa capacidade de forma espontânea (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006).

Os processos reversíveis são modelos ideais usados como referência teórica no estudo da Termodinâmica. Eles se caracterizam por não haver variação de entropia no sistema, uma vez que ocorrem de forma infinitamente lenta, sem dissipação de energia. Já os processos irreversíveis, que são extremamente comuns na realidade, estão associados a perdas de energia, como as que ocorrem por atrito. Em sistemas isolados termicamente, os processos irreversíveis resultam em um aumento da entropia interna, conforme previsto pela segunda lei da Termodinâmica, mesmo sem troca de calor com o ambiente (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006).

A Figura 30 ilustra um mapa conceitual com os conceitos principais associados à Termodinâmica abordados até então.



Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir de dados da pesquisa.

Durante o **cozimento dos alimentos na panela de pressão**, ocorrem tanto processos termodinâmicos irreversíveis quanto reversíveis. O cozimento em si, como a desnaturação de proteínas e a quebra de amidos e gorduras, são exemplos de processos irreversíveis, assim como a dissipação de energia quando o vapor escapa pela válvula, gerando som e calor. Em contraste, a vaporização da água, seguida pela condensação ao entrar em contato com a tampa mais fria, caracteriza um processo reversível. Além disso, o aquecimento da água dentro da panela também é reversível, já que a energia térmica transferida pode, teoricamente, ser removida, retornando o sistema ao seu estado inicial.

3.8.1.5 Calor

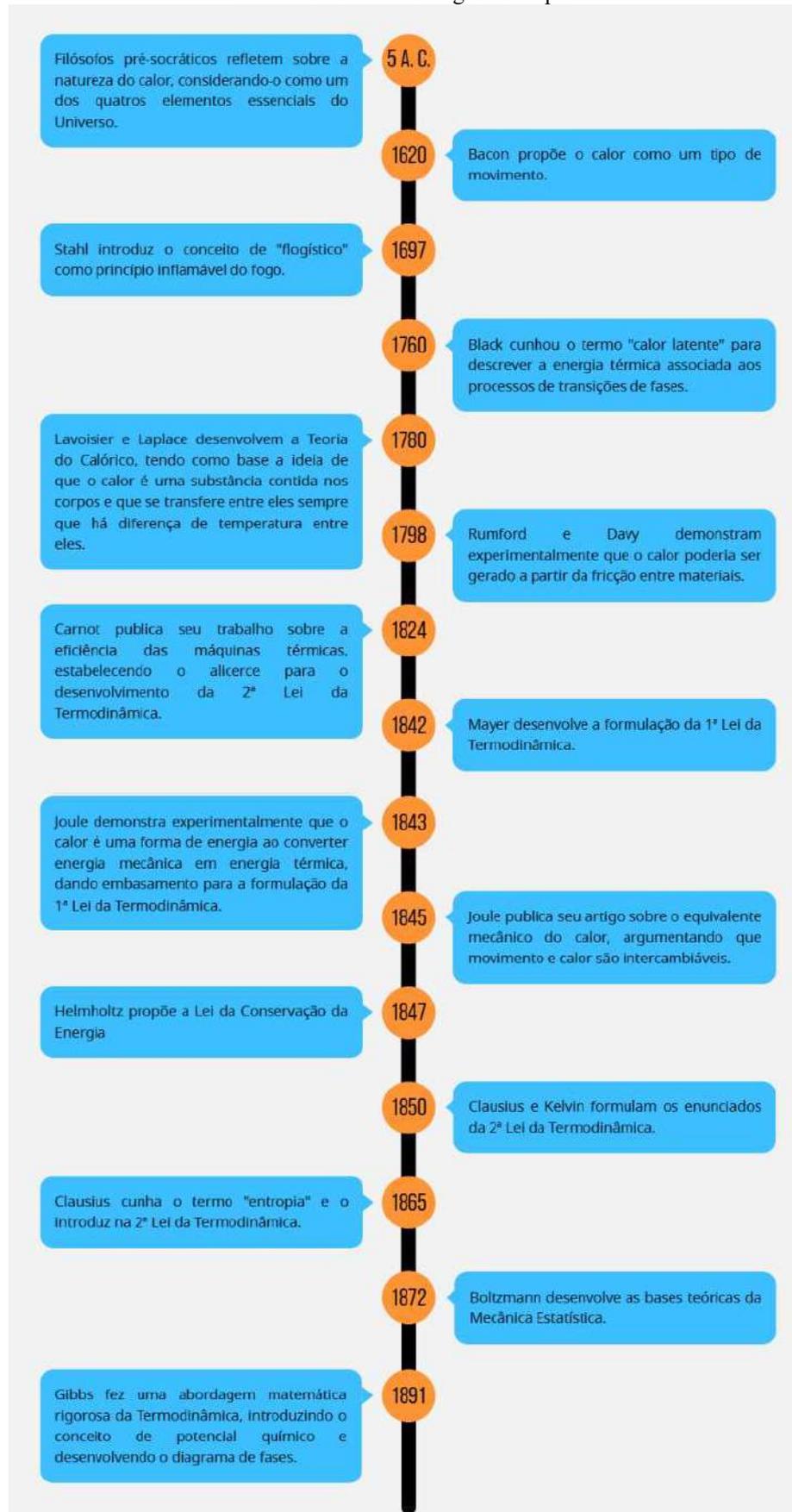
No começo deste subcapítulo (A Física da Panela de Pressão), foi dito que o calor é indispensável para o processo de cozimento dos alimentos. Sendo assim, é essencial definir calor e mencionar por quais processos físicos o mesmo ocorre. Mas, antes de partir para a definição, é necessário fazer um resumo histórico cerca do conceito de calor e da Termodinâmica.

Ao longo dos séculos, a evolução do conceito de calor vem refletindo não apenas os avanços científicos, mas também as mudanças de paradigma e a crescente compreensão da Natureza e do funcionamento do Universo. A busca por entender o calor continua impulsionando novas descobertas e aplicações em diversos campos da Ciência e da Tecnologia (Pires, 2011).

Contudo, hoje, o conceito de calor é visto como uma forma de transferência de energia de um corpo para outro exclusivamente devido a diferenças de temperatura entre eles. A Termodinâmica moderna, juntamente com a Mecânica Estatística e a Teoria Cinética dos Gases, proporciona uma compreensão abrangente do conceito de calor, sua relação com a energia e sua importância em inúmeros fenômenos naturais e tecnológicos. Com isso, o conceito de calor foi relacionado diretamente ao movimento das moléculas e não mais como uma substância invisível que os corpos continham, conforme a Teoria do Calórico. A partir daí, a energia térmica passou a ser entendida como a energia cinética das partículas em um sistema (Chaves; Sampaio, 2007; Pires, 2011; Santos, 2009; Rezende, 2021; Nussenzveig, 2014b; Luiz; Gouveia, 2006).

A Figura 31 ilustra o processo de construção epistemológica do conceito de calor ao longo do tempo.

Figura 31 – Linha do tempo sobre o desenvolvimento da Termodinâmica e a evolução epistemológica do conceito de calor ao longo do tempo.



Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir de dados da pesquisa.

Segundo Nussenzveig (2014b), Luiz e Gouveia (2006), Pietrocola *et al.* (2013) e Chaves e Sampaio (2007), calor é um conceito da Termodinâmica referente a energia térmica trocada entre dois ou mais corpos interagindo entre si, desde que exista uma diferença de temperatura entre eles. Portanto, não faz sentido dizer que um corpo ou sistema contém calor. Mas pode-se estimar a quantidade de energia térmica, cedida ou recebida, na forma de calor, por um corpo em suas interações com outros corpos. Contudo, essa quantidade de energia está associada com algum tipo de processo físico. Os processos consistem em alterar a temperatura do corpo e/ou fazer com que ele mude seu estado físico de agregação molecular.

Portanto, a partir dessa premissa, surge o conceito de *calor sensível*, que uma propriedade da substância e é definido como a quantidade de energia, na forma de calor, necessária para alterar a temperatura de uma substância em uma quantidade específica. Cada substância possui um valor único de calor sensível, que depende de sua composição molecular e propriedades físicas (Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013; Chaves; Sampaio, 2007). Em outras palavras, o calor sensível indica a quantidade de energia térmica, na forma de calor, que deve ser transferida (recebida ou retirada) de cada unidade de massa de uma substância para que haja uma mudança específica de 1 °C em sua temperatura (aumento ou diminuição). Matematicamente, temos que o calor sensível é dado por (Chaves; Sampaio, 2007, p. 127)

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}, \quad (14)$$

em que Q é a quantidade de energia na forma de calor cedida ou absorvida por um corpo de massa m devido a uma diferença de temperatura ΔT .

Por exemplo, a água possui um alto calor sensível, o que significa que é necessário fornecer uma grande quantidade de calor para aumentar sua temperatura em comparação com outras substâncias. Isso ocorre devido à estrutura molecular complexa e às forças intermoleculares presentes na água. Por outro lado, substâncias com baixo calor sensível, como o alumínio, aquecem ou resfriam mais rapidamente quando expostas a uma fonte de calor.

No entanto, essa equação se refere apenas a situação em que não ocorre variação da capacidade térmica, $C(T')$, do corpo à medida que sua temperatura varia. Essa variação na capacidade térmica deve-se ao fato de que o calor sensível da substância varia com a variação da temperatura, uma vez que capacidade térmica, C , de um corpo é definida como o produto entre a massa, m , do corpo e o calor sensível, c , da substância na qual o corpo é feito. Portanto, quando a capacidade térmica de um material varia com a variação da temperatura, podemos

usar uma fórmula mais geral para calcular a quantidade de calor transferida. Essa fórmula leva em conta a capacidade térmica variável do material ao longo do processo de transferência de calor. Portanto, a quantidade de calor, Q , transferida pode ser expressa como a integral da capacidade térmica $C(T')$ em relação à temperatura, T' , no intervalo inicial T_0 até o intervalo final T (Chaves; Sampaio, 2007, p. 139)

$$Q = \int_{T_0}^T C(T') dT', \quad (15)$$

no qual Q é a quantidade total de calor transferida (em joules, J) ou (calorias, cal), $C(T')$ é a capacidade térmica do material, que varia com a temperatura (em joules por kelvin, $J K^{-1}$) ou (calorias por kelvin, $cal K^{-1}$), dT' é um diferencial infinitesimal de temperatura (em kelvins, K). Essa equação é útil quando a capacidade térmica do material não é constante, como ocorre em algumas substâncias que apresentam uma variação significativa de sua capacidade térmica com a mudança de temperatura (Chaves; Sampaio, 2007). Nesses casos, é necessário considerar essa variação ao calcular a quantidade total de calor transferida.

Vale ressaltar que a função da capacidade térmica em relação à temperatura, $C(T')$, deve ser conhecida ou estimada a partir de dados experimentais ou de modelos teóricos para realizar a integração e obter a quantidade total de calor transferida. Em alguns casos, a capacidade térmica pode ser aproximada por uma função linear ou polinomial para tornar o cálculo mais prático, desde que a precisão seja adequada para a aplicação em questão (Chaves; Sampaio, 2007).

De acordo com Oliveira (2005), a capacidade térmica de um corpo é definida como sendo a razão entre o calor recebido, Q , e o respectivo incremento na temperatura, ΔT , escrita matematicamente na forma

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (16)$$

Se a forma como o calor recebido pelo sistema for a volume constante isso implica que o trabalho realizado pelo sistema é nulo, portanto, o calor recebido pelo sistema será igual à sua variação de energia interna (Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Nussenzveig, 2014b;

Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998). Logo, de acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica, tem-se que

$$Q = \Delta U \quad (17)$$

Dividindo a Eq. (17) acima por ΔT em ambos os lados, tem-se

$$\frac{Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T}$$

No limite em que $\Delta T \rightarrow 0$, para o processo isocórico pode-se escrever a capacidade térmica por (Oliveira, 2005, p. 34)

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V \quad (18)$$

Já no caso em que a forma como o calor recebido pelo sistema for feita a pressão constante, ele será igual à variação de energia interna do sistema somada ao trabalho realizado pelo sistema (Chaves; Sampaio, 2007; Oliveira, 2005; Nussenzveig, 2014b; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998). Da 1ª Lei da Termodinâmica, temos que

$$Q = \Delta U + W, \quad (19)$$

em que “ $W = p \Delta V$ ” (Oliveira, 2005, p. 7) e dividindo a Eq. (19) em ambos os lados por ΔV , temos

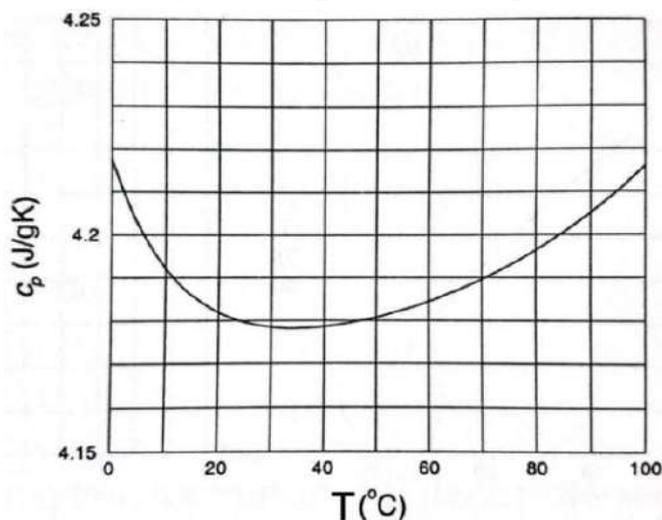
$$\frac{Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T} + p \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

Contudo, quando $\Delta T \rightarrow 0$, para o processo isobárico mencionado pode-se escrever a capacidade térmica por (Oliveira, 2005, p. 34)

$$C_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_p + p \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \quad (20)$$

A Figura 32 abaixo ilustra um gráfico que mostra a capacidade térmica por unidade de massa, ou calor sensível, para a substância água, para um intervalo de temperatura compreendido entre 0 °C e 100 °C, à uma pressão constante de 1,00 atm.

Figura 32 – Calor sensível isobárico da água como função da temperatura à pressão de 1,00 atm. A 15 °C, o calor específico da água vale $4,1858 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$.



Fonte: Adaptado de Oliveira (2005, p. 35).

Já o *calor latente* está relacionado às mudanças de estado físico de uma substância, como a fusão (mudança de sólido para líquido) e a vaporização (mudança de líquido para gasoso). Durante essas transições de fase, a temperatura da substância permanece constante mesmo com a adição de calor. Em vez de aumentar a temperatura, o calor fornecido é utilizado para romper as forças intermoleculares e alterar o arranjo das partículas (Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013).

O calor latente é definido como a quantidade de calor necessária para realizar uma mudança de fase em uma unidade de massa da substância. O calor latente de fusão, por exemplo, representa a quantidade de energia térmica necessária, na forma de calor, para fundir uma unidade de massa de uma substância sólida a uma temperatura constante, enquanto o calor latente de vaporização é a quantidade de calor necessária para vaporizar uma unidade de massa de uma substância líquida a uma temperatura constante (Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013). Matematicamente, o calor latente é dado por (Chaves; Sampaio, 2007, p. 144)

$$L = \frac{Q}{m}, \quad (21)$$

em que L é o calor latente, que é uma constante própria de cada substância e que depende do processo de transição para que uma substância específica de massa m ceda ou ganhe energia na forma de calor para alterar seu estado físico de agregação molecular.

Um exemplo comum é a fusão do gelo. Quando a temperatura do gelo está abaixo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (nível do mar) e energia térmica é fornecida na forma de calor a ele, o gelo absorve energia, na forma de calor (latente), para se transformar em água líquida a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (nível do mar). Durante esse processo, a temperatura permanece constante até que todo o gelo tenha se transformado em água líquida. Da mesma forma, durante a vaporização da água, a partir do momento que ela se encontra a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (nível do mar), toda energia fornecida na forma de calor (latente) será usada para vaporizar a água, ou seja, transformá-la de líquido para vapor. Enquanto isso ocorre, a temperatura permanece constante até que toda a água líquida tenha se convertido em vapor e o processo de vaporização cesse.

Como o calor é uma energia térmica em transferência entre sistemas físicos a temperaturas diferentes, convém discorrer sobre as formas como ele se propaga. O calor pode se propagar de diferentes maneiras, dependendo do meio em que está sendo transferido. Existem três formas principais de propagação de calor: *condução*, *convecção* e *irradiação*. Cada uma dessas formas descreve um mecanismo específico pelo qual a energia térmica se transfere de uma região para outra (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015; Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013).

A *condução* é a forma de propagação de calor que ocorre em sólidos ou em substâncias estreitamente juntas. No entanto, esse processo também ocorre em líquidos. Nesse processo, o calor é transferido de uma partícula para outra através das colisões entre elas (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015; Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013).

Quando uma extremidade de uma barra de metal é aquecida, por exemplo, as partículas constituintes próximas ao ponto de entrada de calor começam a vibrar e colidir com as partículas vizinhas, transferindo energia térmica de uma para a outra ao longo de toda a extensão da barra. A condução é mais eficiente em materiais bons condutores de calor, como metais, que possuem elétrons livres que podem se mover e transportar a energia térmica rapidamente (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015; Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013).

Para a condução térmica em sólidos, por exemplo, a *Lei da Condução de Fourier* é utilizada para descrever a taxa de transferência de calor através do material. Essa lei trata-se de um princípio fundamental da Termodinâmica que descreve como o calor se propaga através de um meio sólido. Ela foi formulada pelo matemático e físico francês Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768 – 1830) (Santos, 2009). Ela estabelece que o fluxo de calor (taxa de transferência

de calor por unidade de área) em um meio é proporcional ao gradiente de temperatura no meio. Em outras palavras, quando há uma diferença de temperatura entre dois pontos de um mesmo meio, o calor fluirá do ponto de temperatura mais alta para o ponto de temperatura mais baixa. E quanto maior for a diferença de temperatura, maior será o fluxo de calor. Matematicamente, a Lei da Condução de Fourier é expressa pela seguinte equação (Chaves; Sampaio, 2007, p. 129)

$$\frac{dQ}{dt} = -k A \frac{dT}{dx} \quad (22)$$

Nessa expressão, dQ/dt representa o fluxo de calor, ou seja, a taxa de transferência de calor (em Watts, W) ou (calorias por segundo, cal s^{-1}); k é a condutividade térmica do material, que indica a capacidade do material em conduzir calor (em watts por metro por kelvin, $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$); A é a área de secção transversal através da qual o calor está sendo transferido (em metros quadrados, m^2); dT/dx é o gradiente de temperatura, representando a variação da temperatura em relação à posição através do material (em kelvin por metro, K m^{-1}).

Já a *convecção* é a forma de propagação de calor que ocorre somente em fluidos, como líquidos, gases e plasmas. Nesse caso, o calor é transferido por meio do movimento das próprias partículas constituintes do fluido em questão. Quando uma parte do fluido é aquecida, suas partículas ganham energia térmica e se tornam menos densas, fazendo com que se desloquem para cima, enquanto as partículas mais frias, portanto mais densas, se movem para baixo. Esse movimento ascendente e descendente cria correntes de convecção, permitindo que o calor seja distribuído ao longo de todo o fluido (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015; Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013).

Um exemplo comum de convecção é a transferência de calor em uma panela de água fervente, em que o calor é transferido do fundo para o topo através do movimento ascendente da água quente e do movimento descendente da água fria (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015; Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013).

A fórmula matemática para calcular a taxa de transferência de calor por convecção depende das condições específicas do escoamento, como se é laminar ou turbulento, e da geometria do objeto ou superfície que está trocando calor com o fluido. Ou seja, para um escoamento do tipo laminar sobre uma placa plana, a taxa de transferência de calor por convecção é geralmente descrita pela *Lei de Resfriamento/Aquecimento de Newton*. A fórmula é dada por (Silva *et al.*, 2003, p. 394)

$$\frac{dQ}{dt} = h A (T_S^4 - T_\infty^4) \quad (23)$$

Em que:

- dQ/dt representa a taxa de transferência de calor (em watts, W) ou (calorias por segundo, cal s⁻¹);
- h é o coeficiente de transferência de calor por convecção (em watts por metro quadrado por kelvin, W m⁻² K⁻¹, que é a causa propulsora para esse fenômeno, surgindo da discrepância de densidade do fluido, que, quando entra em contato com uma superfície de temperatura distinta, leva a um aumento na força de flutuação (empuxo);
- A é a área da superfície de troca de calor (em metros quadrados, m²);
- T_S é a temperatura da superfície (em kelvins, K);
- T_∞ é a temperatura do fluido à distância infinita da superfície (em kelvins, K).

Por fim, temos a *irradiação*, que é a forma de propagação de calor que ocorre por meio exclusivo de ondas eletromagnéticas. Diferentemente da condução e da convecção, a irradiação não requer um meio material para ocorrer. Nesse processo, o calor é emitido na forma de radiação e pode se propagar até mesmo através do vácuo ou no espaço sideral. Essa transferência de calor por radiação térmica ocorre devido à emissão e absorção de radiação eletromagnética por corpos com temperaturas diferentes (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015; Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013).

Um exemplo comum de irradiação é o calor transmitido pelo Sol que chega até a Terra. A energia térmica é emitida pelo Sol na forma de radiação e viaja através do espaço sideral até atingir a atmosfera e a superfície terrestre, aquecendo nosso planeta (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015; Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013).

A quantidade de calor fornecida por meio da irradiação térmica é calculada usando a Lei de Stefan-Boltzmann, que é uma lei fundamental da Física responsável por descrever a taxa de energia radiante por unidade de tempo emitida por um objeto aquecido em função de sua temperatura absoluta (Eisberg; Resnick, 1979). A fórmula para o fornecimento de calor por irradiação térmica é dada por (Arezon, 2020, p. 2)

$$\frac{dQ}{dt} = A \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4) \quad (24)$$

Em que:

- dQ/dt representa a taxa de transferência de calor (em watts, W) ou (calorias por segundo, cal s^{-1});
- σ é a constante de Stefan-Boltzmann, aproximadamente $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$;
- A é a área da superfície do corpo que está emitindo ou absorvendo a radiação térmica (em metros quadrados, m^2);
- T é a temperatura do corpo que está emitindo ou absorvendo radiação térmica (em kelvins, K);
- T_0 é a temperatura da fonte de radiação térmica (em kelvins, K);
- ε é a emissividade do corpo, um número adimensional compreendido entre 0 e 1 que indica a capacidade do corpo em emitir e absorver radiação térmica (um corpo perfeitamente negro tem emissividade igual a 1).

Essas três formas de propagação de calor – condução, convecção e irradiação – estão presentes em nosso dia a dia e desempenham papéis fundamentais na promoção e manutenção da vida na Terra. Compreender como o calor se propaga nos ajuda também a projetar sistemas de isolamento térmico eficientes, a regular a temperatura em ambientes internos e a entender os processos climáticos que afetam nosso planeta (Pietrocola *et al.*, 2013).

3.8.1.6 Densidade

A *densidade* é um conceito fundamental na Física que descreve a concentração de massa em um determinado volume. Ou seja, a densidade representa como a matéria está distribuída em um determinado volume. Ela é definida como a razão entre a massa de um objeto e o volume ocupado por esse objeto. Matematicamente, a densidade (ρ) é definida como (Torres *et al.*, 2016a, p. 133; Luiz; Gouveia, 2006, p. 10)

$$\rho \equiv \frac{m}{V}, \quad (25)$$

em que m representa a massa do objeto e V representa o seu volume. A unidade de medida da densidade no Sistema Internacional é o quilograma por metro cúbico (kg m^{-3}).

A densidade é uma propriedade intrínseca da matéria e varia de acordo com a substância (Torres *et al.*, 2016a). Além do mais, ela varia conforme a temperatura do corpo. Essa característica é especialmente útil na identificação de materiais desconhecidos, pois cada substância possui uma densidade característica. Por exemplo, o ouro tem uma densidade elevada, enquanto o ar possui uma densidade muito baixa.

A densidade também desempenha um papel importante em várias aplicações práticas. Por exemplo, na Indústria, a densidade é utilizada para determinar a qualidade e a pureza de materiais, bem como para projetar estruturas e componentes com base nas propriedades dos materiais envolvidos. Outra aplicação importante da densidade é na flutuação de corpos em fluidos, como, por exemplo, no projeto de embarcações, como navios, barcos, submarinos, canoas, caiaques, botes salva-vidas, balsas etc.

De acordo com o *Princípio de Arquimedes*, um objeto imerso em um fluido experimenta uma força de empuxo igual ao peso do fluido deslocado (Torres *et al.*, 2016a; Luiz; Gouveia, 2006). Se a densidade do objeto for maior do que a densidade do fluido, o objeto afundará; caso contrário, ele flutuará. Porém, se as densidades forem iguais, o objeto estará em repouso, em relação ao líquido, em qualquer ponto em que for colocado.

3.8.1.7 Tensão Superficial

A *tensão superficial* é um fenômeno intrigante presente em líquidos, como a água, que desafia nossa compreensão sobre as forças que governam a natureza. É uma propriedade que se manifesta na interface entre o líquido e o ar, onde a atração molecular é especialmente notável (Luiz; Gouveia, 2006).

No âmago da tensão superficial está o comportamento das moléculas na superfície do líquido. No interior do líquido, as moléculas interagem entre si eletricamente, criando forças de coesão que as mantêm unidas. Entretanto, na superfície, essa força é diferente, pois as moléculas não têm outras moléculas acima delas para interagir. O resultado é uma atração molecular para o interior e os lados do líquido, gerando uma fina “membrana” elástica ou camada na superfície (Luiz; Gouveia, 2006).

É essa fina “membrana” elástica que causa o efeito impressionante que observamos em um copo cheio de água ou em insetos que parecem flutuar sobre a superfície de um lago. Ela é responsável por permitir que insetos, aranhas e outros animais de pequeno porte, como o lagarto monitor, consigam caminhar ou repousar sobre a água (Luiz; Gouveia, 2006).

A tensão superficial que é a responsável por criar essa “membrana” elástica e resistente na superfície do líquido, o que permite que certos objetos flutuem, mesmo sendo mais densos que a água. Um exemplo disso é quando uma lâmina de barbear, muito leve e fina, flutua sobre a superfície da água, mesmo com a densidade do material da lâmina (aço) ser maior do que a densidade da água (Luiz; Gouveia, 2006). O mesmo pode ser percebido com pequenas moedas de metal (bronze, cobre etc.) e clips metálicos de papel.

Um dos exemplos mais notáveis da tensão superficial é a formação de gotas. Quando uma gota de água cai em uma superfície, seja de uma torneira, chuveiro ou mesmo da chuva, ela se mantém unida em uma esférica devido à tensão superficial, que age como uma espécie de "capa" que a mantém coesa. Esse fenômeno é observado tanto em pequenas gotas em uma folha quanto em gotas de chuva que caem do céu. Contudo, devido ação da resistência do ar, essas gotas passam a ter um formato mais afinado em sua parte superior durante a queda.

Nas CNTP, a tensão superficial da água é de cerca de $72 \times 10^{-3} \text{ N m}^{-1}$, sendo uma das mais altas entre os líquidos. Dentro todas as substâncias líquidas, há apenas uma cuja tensão superficial é mais elevada: o mercúrio, cuja tensão superficial tem como valor aproximadamente $500 \times 10^{-3} \text{ N m}^{-1}$.

A tensão superficial também tem implicações importantes na vida cotidiana e na natureza. Ela influencia o modo como as plantas transportam água através de seus sistemas, como os insetos se movem sobre a água e até mesmo como os líquidos sobem em pequenos tubos capilares, como é o caso das infiltrações que ocorrem nos “pés” de parede das residências e estabelecimentos comerciais.

3.8.1.8 Força

O conceito de *força* é fundamental na Física e desempenha um papel crucial na compreensão dos movimentos e das interações entre corpos. Na Física Clássica, a força é definida como uma grandeza vetorial que causa uma mudança no estado de movimento de um objeto. Ou seja, ela altera o estado de inércia de um corpo. Além disso, a força é capaz de causar deformações no formato do corpo (Torres *et al.*, 2016a). O conceito de força foi introduzido na Física Clássica para descrever as interações entre os corpos e como afeta o estado de movimento dos mesmos, em 1687, quando

Newton exprimiu essa ideia em sua obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural), ou simplesmente *Principia*, afirmando que “uma força imprimida é uma ação exercida sobre um corpo

a fim de alterar seu estado, seja de repouso ou de movimento em uma linha reta” (Torres *et al.*, 2016a, p. 94).

De acordo com a Segunda Lei de Newton, a resultante, F_i , de todas as forças que são aplicadas em um objeto é diretamente proporcional à taxa de mudança temporal de seu momento linear resultante (ou quantidade de movimento linear resultante). Matematicamente, isso é expresso seguinte relação matemática (Chaves; Sampaio, 2012, p. 170; Taylor, 2013, p. 14; Thornton; Marion, 2011, p. 44)

$$\sum_{i=1}^n F_i = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F} \quad (26)$$

em que \mathbf{F} é a força, \mathbf{p} é a quantidade de movimento linear do objeto e t é o tempo. Como a quantidade de movimento é definida como $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$, uma vez que o sistema não seja de massa variável, a relação pode ser expressa como (Thornton; Marion, 2011, p. 44)

$$\mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m \mathbf{a} \quad (27)$$

Como a derivada da velocidade em relação ao tempo representa a aceleração, temos que a força é caracterizada pela capacidade de produzir aceleração em um corpo, ou seja, alterar seu estado de repouso ou de movimento a velocidade constante.

Uma característica importante da força é que ela pode ser exercida por meio do contato físico entre objetos ou à distância (forças de campo), sem necessidade de contato direto (Torres *et al.*, 2016a). Por exemplo, a força gravitacional entre dois corpos atua mesmo quando não há contato físico entre eles. Essa força é responsável pela atração mútua entre os corpos e depende da massa e da distância entre eles.

Além disso, a força é uma grandeza que atua sobre objetos dotados de massa, ocorrendo sempre, no mínimo, em pares, entre dois corpos dotados de massa. Um corpo por si só não possui força. Para que haja uma força atuando sobre um corpo, é necessário que exista ao menos outro corpo interagindo com ele por meio do que chamamos de “força”. Essa interação pode ser por contato direto (contato, atrito, colisão etc.) ou à distância (forças gravitacionais, eletromagnéticas etc.), como mencionado acima.

Além da Segunda Lei de Newton para o movimento dos corpos, há também a Primeira e a Terceira Lei, que são importantes para a descrição dinâmica dos movimentos dos corpos.

A Primeira Lei, também conhecida como Princípio da Inércia dos Corpos, estabelece que um corpo tende a manter seu estado de inércia (repouso ou Movimento Retilíneo Uniforme) em relação a um certo referencial inercial (é aquele no qual são validas as leis de Newton, principalmente a da inércia), se sobre ele não estiver atuando nenhuma força resultante (Taylor, 2013; Thornton; Marion, 2011; Chaves; Sampaio, 2012; Nussenzveig, 2014a; Torres *et al.*, 2016a). Ou seja, a resultante de todas as forças que atuarem sobre esse corpo deve ser nula para satisfazer essa condição. Matematicamente, essa lei pode ser expressa por (Taylor, 2013, p. 19)

$$\sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i = \mathbf{0} \quad (28)$$

No caso da Terceira Lei, conhecida como Princípio da Ação e Reação, é estabelecida que a interação entre dois corpos implica em forças que um exerce sobre o outro. Essas forças são colineares, mas de sentidos opostos. Além disso, possuem a mesma magnitude (Taylor, 2013; Thornton; Marion, 2011; Chaves; Sampaio, 2012; Nussenzveig, 2014a; Torres *et al.*, 2016a). Matematicamente, essa lei pode ser expressa pela seguinte equação (Taylor, 2013, p. 18; Thornton; Marion, 2011, p. 45)

$$\mathbf{F}_{ij} = -\mathbf{F}_{ji} \quad (29)$$

O sinal negativo indica que, apenas de suas magnitudes e direções serem iguais, ambas estão em sentidos opostos. É por causa desse princípio que conseguimos caminhar ou mesmo foguetes são lançados ao espaço sideral.

3.8.1.9 Momento Linear

O *momento linear* é uma grandeza física que descreve o movimento de um objeto em linha reta. Ou seja, é a quantidade de movimento de um corpo em um movimento translacional. Ele é definido como o produto da massa do objeto pela sua velocidade linear. Matematicamente, a quantidade de movimento linear (\mathbf{p}) é definida pela fórmula (Chaves; Sampaio, 2012, p. 170; Taylor, 2013, p. 14; Thornton; Marion, 2011, p. 44)

$$\mathbf{p} \equiv m\mathbf{v}, \quad (30)$$

em que \mathbf{p} é o vetor momento linear, m é a massa do objeto e \mathbf{v} é o vetor velocidade.

O momento linear é uma grandeza vetorial, o que significa que ela possui magnitude, direção e sentido. A direção e o sentido do momento linear são determinados pela direção e sentido da velocidade do objeto (Torres *et al.*, 2016a).

Um princípio importante relacionado à quantidade de movimento linear de um corpo ou sistema é a *Lei da Conservação do Momento Linear*. Essa lei estabelece que, em um sistema isolado de forças externas, o momento linear total permanece sempre constante, desde que nenhuma força externa atue sobre o sistema (Taylor, 2013, p. 21). Segundo Marion e Thornton (2011, p. 68) “a quantidade de movimento linear total \mathbf{p} de uma partícula é conservada quando a força total sobre ela é zero”. Matematicamente, temos (Thornton; Marion, 2011, p. 46)

$$\sum_{i=1}^N \frac{d\mathbf{p}_i}{dt} = 0 \quad (31)$$

No limite de tempo infinitesimal ($dt \rightarrow 0$), temos que a relação de soma na Eq. (31) se torna uma integral, logo

$$\int \frac{d\mathbf{p}_i}{dt} dt = \int 0 dt$$

O que resulta em (Thornton; Marion, 2011, p. 46)

$$\sum_{i=1}^N \mathbf{p}_i = \text{constante} \quad (32)$$

Nas próprias palavras de (Taylor, 2013, p. 21) dizemos que “se a resultante das forças externas \mathbf{F}^{ext} sobre um sistema de N partículas é zero, o momento \mathbf{p} total do sistema é constante”. Em outras palavras, o momento linear total antes e depois de uma interação entre objetos é o mesmo, desde que não haja influência de forças externas. Matematicamente, essa lei pode ser expressa como

$$\sum \mathbf{p}_{\text{antes}} = \sum \mathbf{p}_{\text{depois}} \quad (33)$$

Essa conservação do momento linear tem implicações significativas na Física. Ela pode ser aplicada a colisões entre objetos, em que o momento linear total antes da colisão é igual ao momento linear total após a colisão. Essa lei também é válida para sistemas mais complexos, envolvendo múltiplos objetos interagindo entre si (Chaves; Sampaio, 2012; Nussenzveig, 2014a).

O princípio que descreve a Lei da Conservação do Momento Linear tem amplas aplicações na vida cotidiana e em diversas áreas da Física. Ele é essencial no estudo de Mecânica, Dinâmica de Corpos Rígidos, Colisões e interações entre partículas. Além disso, este princípio é fundamental na compreensão e no projeto de sistemas, como veículos, foguetes, máquinas e dispositivos mecânicos (Pietrocola *et al.*; 2013).

3.8.1.10 Torque

O conceito de *torque* é fundamental na Física e está relacionado à rotação e ao movimento angular dos objetos extensos. Também conhecido como momento de uma força, o torque é uma grandeza física vetorial – logo, possui magnitude, direção e sentido – que representa a tendência que uma força tem de rotacionar um corpo sobre o qual essa força é aplicada, em relação a um eixo de rotação fixo. Ou seja, o torque descreve e indica a capacidade (facilidade ou dificuldade) que uma força tem em causar uma mudança na inércia rotacional de um corpo (Torres *et al.*, 2016a).

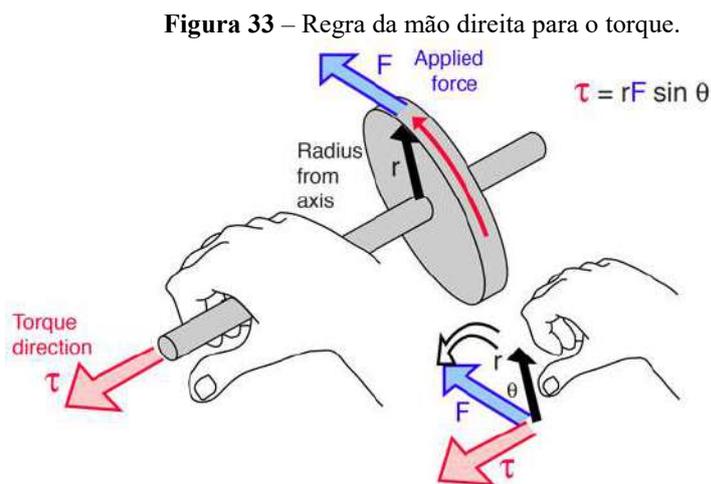
O torque é um vetor ortogonal aos dois vetores coplanares que o definem: força e posição em relação ao eixo de rotação. O torque pode ser calculado por meio do produto vetorial entre esses dois vetores. Matematicamente, o torque, $\boldsymbol{\tau}$, pode ser definido como (Chaves; Sampaio, 2012, p. 219; Thornton; Marion, 2011, p. 68)

$$\boldsymbol{\tau} \equiv \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{F}, \quad (34)$$

em que \boldsymbol{r} é o vetor de posição em relação ao eixo de rotação, \boldsymbol{F} é o vetor força aplicado nesse ponto \boldsymbol{r} . A magnitude do torque é dada pelo produto da magnitude da força pela distância perpendicular entre a linha de ação da força e o eixo de rotação.

O torque é medido em unidades de newton metro (N·m) no SI. Apesar de ter a mesma dimensão de energia (J), o torque não tem a mesma natureza, por isso, ele não possui o (J) como unidade de medida no SI. É importante notar que o torque pode ter efeitos diferentes dependendo da direção em que é aplicado. Por convenção, quando um corpo é rotacionado no

sentido horário, seu torque é negativo, enquanto que a rotação no sentido horário implica em um torque positivo sobre o corpo. Além disso, a direção e o sentido do torque, por se tratar de um vetor resultante de um produto vetorial entre outros dois vetores, são facilmente determinados por meio da aplicação da *regra da mão direita*⁶ (Torres *et al.*, 2016a). Confira o esquema a seguir na Figura 33.



Fonte: Nave (© 2017, online).

A direção e o sentido do torque podem ser determinados ao fechar a mão direita com os quatro dedos em direção à força (F). Ele é determinado pela direção do polegar, que é a mesma do eixo de rotação do corpo. O sentido do torque é o sentido para onde aponta o polegar.

O efeito do torque em um objeto depende de sua inércia rotacional (momento de inércia), que é medida pela distribuição de massa ao redor do eixo de rotação. Quanto maior a inércia rotacional de um objeto, maior será a resistência à mudança em seu estado de rotação (Nussenzveig, 2014a).

Sempre que uma força for aplicada em um ponto a uma certa distância do eixo de rotação de um corpo, esse corpo estará sujeito a rotacionar. Se esse corpo não está rotacionando ou rotaciona sem que sua velocidade angular varie, então esse corpo se encontra em equilíbrio rotacional (Chaves; Sampaio, 2012).

O equilíbrio rotacional é resultado da soma dos torques que atuam sobre o corpo ser nula e, por isso, esse corpo não rotaciona ou rotaciona com velocidade constante. Em outras palavras, quando o torque resultante sobre um corpo é nulo, esse corpo não apresenta aceleração

⁶ A regra da mão direita é um método para determinar a direção do torque ou do momento angular em sistemas rotacionais.

angular para vencer sua inércia rotacional (momento de inércia) (Nussenzveig, 2014a; Chaves; Sampaio, 2012).

O torque desempenha um papel fundamental em diversos fenômenos físicos. Por exemplo, ele é responsável pela rotação de objetos em torno de eixos, como os movimentos executados pelos pistões do motor de um carro que fazem girar o virabrequim, ou mesmo as rodas de um veículo em movimento. Além disso, o torque é utilizado em sistemas de alavancas, onde uma força aplicada a uma distância maior do ponto de rotação pode gerar um torque maior com o objetivo de levantar ou mover objetos pesados (Torres *et al.*, 2016a).

É importante ressaltar que o torque também pode ser negativo, causando a desaceleração ou a reversão do movimento de rotação. Por exemplo, ao aplicar o freio em um veículo em movimento, um torque negativo é gerado para reduzir a velocidade de rotação das rodas.

Portanto, assim como a força resultante é o agente dinâmico do movimento de translação, o torque, por sua vez, é o agente dinâmico do movimento de rotação. Quando aplicamos uma força resultante sobre um corpo, esse corpo pode adquirir aceleração linear. Isso pode acabar alterando seu estado de inércia (repouso ou movimento retilíneo uniforme), fazendo com que o corpo altere sua velocidade linear em relação a um referencial adotado e na mesma direção e sentido da força resultante sobre ele. Por outro lado, quando aplicamos um torque resultante sobre algum corpo, esse corpo pode adquirir uma aceleração angular, fazendo com que sua inércia rotacional (momento de inércia) seja alterada, podendo variar sua velocidade angular em torno de um eixo fixo ou alterar. Isso caracteriza um movimento de rotação. Dizemos então que, quando um corpo está em rotação, ele apresenta momento angular devido o surgimento de um torque sobre ele.

3.8.1.11 Momento Angular

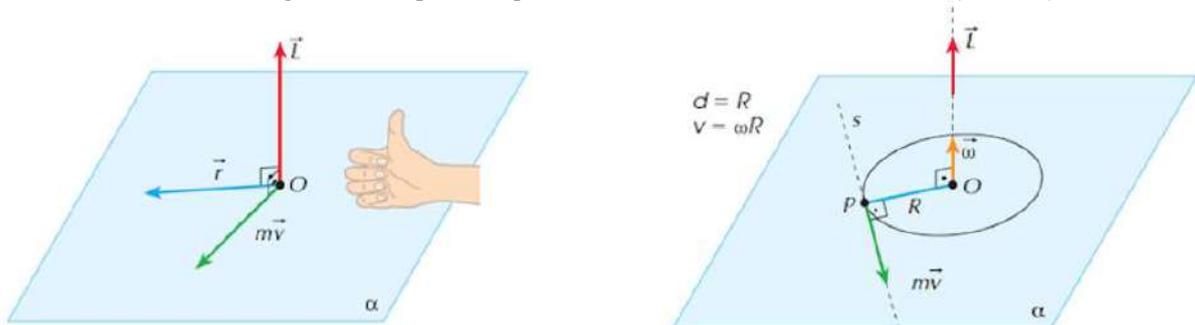
O conceito de momento angular é amplamente utilizado em várias áreas da Física, incluindo Mecânica Clássica, Mecânica Quântica e Astrofísica, para descrever o movimento de corpos em rotação e analisar sistemas complexos que envolvem objetos em movimento giratório.

O *momento angular* é uma grandeza física que descreve a quantidade de rotação de um objeto em torno de um eixo específico. Ele é uma propriedade intrínseca de um corpo em movimento rotacional e está relacionado à distribuição de sua massa e velocidade angular em relação a esse eixo de rotação (Chaves; Sampaio, 2012).

Em termos mais simples, o momento angular representa a inércia rotacional de um objeto em movimento circular. Ou seja, representa a dificuldade ou resistência que um objeto tem em rotacionar em torno de seu eixo de rotação. E quanto maior a massa do objeto e mais longe seu centro de massa estiver do seu eixo de rotação, maior será o momento angular. Além disso, quanto maior a velocidade angular do objeto, maior será o seu momento angular.

O momento angular é uma grandeza vetorial, o que significa que ele possui tanto magnitude quanto direção e sentido. A direção do momento angular é perpendicular ao plano em que o objeto está girando e é definida de acordo com a regra da mão direita (ver Figura 34): apontando o dedo polegar na direção do eixo de rotação e os outros dedos na direção do movimento rotacional, o dedo indicador aponta a direção do momento angular (Chaves; Sampaio, 2012; Taylor, 2013).

Figura 34 – Momento angular ou momento da quantidade de movimento de um ponto material (à esquerda). Momento angular de um ponto P que realiza movimento circular uniforme (à direita).



Fonte: Adaptado de Ferraro (2013, online).

Matematicamente, o momento angular para uma partícula única é definido por (Taylor, 2013, p. 90; Thornton; Marion, p. 68)

$$\mathbf{L} \equiv \mathbf{r} \times \mathbf{p}, \quad (35)$$

em que \mathbf{r} é o vetor posição da partícula em relação ao eixo de rotação e \mathbf{p} é o seu momento linear.

De acordo com Chaves e Sampaio (2012), o momento angular está associado ao torque gerado por uma força a uma distância do eixo de rotação do corpo. Essa associação se dá pelo fato de que o surgimento de um torque sobre um corpo altera o momento angular inicial dele. Matematicamente, essa associação entre torque e momento angular é definido por (Chaves; Sampaio, 2012, p. 224; Taylor, 2013, p. 90)

$$\boldsymbol{\tau} \equiv \frac{d\mathbf{L}}{dt} \quad (36)$$

Em palavras, essa equação diz que a taxa de variação temporal do momento angular da partícula com relação ao eixo de rotação é igual ao torque resultante aplicado em relação à esse mesmo eixo de rotação (Taylor, 2013). Para Taylor (2013, p. 90) a Eq. (36) acima representa o análogo rotacional da 2ª Lei de Newton para o momento linear, expressa matematicamente pela Eq. (26), afirmando que o torque “*é frequentemente descrito como a forma rotacional da segunda lei de Newton*”.

Contudo, considerando o movimento de rotação de um corpo rígido em torno de um eixo fixo, todas as partículas do corpo terão movimento circular uniforme em torno desse eixo, com a mesma velocidade angular. Nesse caso, o momento angular total é definido por (Chaves; Sampaio, 2012, p. 227)

$$\mathbf{L} \equiv I \boldsymbol{\omega}, \quad (37)$$

em que $\boldsymbol{\omega}$ é a velocidade angular e I é o *momento de inércia* do corpo. Contudo, o momento de inércia, para um corpo tratado como contínuo é dado pela integral ao longo de todo o corpo C (Chaves; Sampaio, 2012, p. 227)

$$I = \int_C r^2 dm \quad (38)$$

Seja dm uma pequena massa elementar do corpo, e r a distância dessa massa elementar ao eixo de rotação. Logo, substituindo a Eq. (38) na Eq. (37), temos que o momento angular do corpo rígido contínuo é dado por (Chaves; Sampaio, 2012, p. 227)

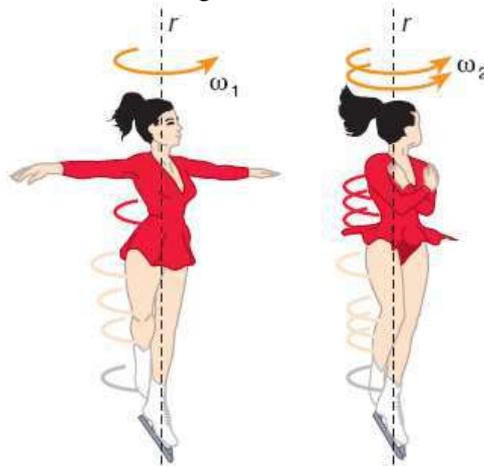
$$\mathbf{L} = \boldsymbol{\omega} \int_C r^2 dm \quad (39)$$

O *Princípio da Conservação do Momento Angular* é uma importante lei da Física que estabelece que, em um sistema isolado (sem ação de forças externas atuantes), o momento angular total permanece constante (Taylor; 2013; Chaves; Sampaio, 20122007; Thornton;

Marion, 2011). Em outras palavras, podemos afirmar que (Taylor; 2013, p. 95) “se o torque resultante externo sobre um sistema de N partículas for zero, o momento angular total do sistema $\mathbf{L} = \sum \mathbf{r}_\alpha \times \mathbf{p}_\alpha$ é constante”, ou mesmo que (Thornton; Marion, 2011, p. 69) “o momento angular de uma partícula não sujeita a qualquer torque é conservado”. Isso significa que, se um objeto gira ou muda sua forma em um sistema isolado, a soma de todos os momentos angulares individuais se mantém inalterada.

Um exemplo fascinante de conservação do momento angular é observado em uma bailarina de gelo que está girando em torno de seu próprio eixo vertical durante uma apresentação. Quando a bailarina começa a girar com os braços estendidos, ela tem um momento angular inicial. À medida que ela encolhe seus braços em direção ao corpo, ela reduz seu momento de inércia, devido à redução da distância dos braços em relação ao eixo de rotação (neste caso, o próprio corpo), conforme Figura 35.

Figura 35 – Movimento giratório de uma bailarina de gelo.



Fonte: Ferraro (2013, online).

De acordo com o princípio da conservação do momento angular, o produto do momento de inércia pela velocidade angular deve permanecer constante, desde que não haja forças externas atuando sobre ela (Ferraro, 2013). Portanto, quando a bailarina encolhe os braços, o momento de inércia diminui, o que leva a um aumento correspondente na velocidade angular. Esse aumento na velocidade angular resulta em uma rotação mais rápida. A bailarina está redistribuindo seu momento angular total enquanto mantém sua velocidade angular.

Esse exemplo ilustra a conservação do momento angular, uma das leis fundamentais da física, que descreve como o momento angular total de um sistema isolado permanece constante, a menos que forças externas atuem sobre ele. No caso da bailarina de gelo, o momento angular é transferido do momento de inércia para a velocidade angular, mantendo a beleza e a graça da

sua dança no gelo. Matematicamente, para essa situação em que a resultante dos torques externos é nula, temos que (Chaves; Sampaio, 2012, p. 236)

$$\boldsymbol{\tau} = \frac{d\mathbf{L}}{dt} = 0 \quad (40)$$

Integrando em ambos os lados, temos que

$$\int \frac{d\mathbf{L}}{dt} dt = \int 0 dt$$

Logo, temos que

$$d\mathbf{L} = 0 \quad (41)$$

Isso implica que o momento angular do sistema é conservado. Logo

$$\mathbf{L} = \mathbf{L}_0 \quad (42)$$

De Eq. (37) em Eq. (42), temos que (Chaves; Sampaio, 2012, p. 235)

$$I \boldsymbol{\omega} = I_0 \boldsymbol{\omega}_0 \quad (43)$$

O peso da bailarina não gera torque em relação ao eixo que passa por seu centro de massa. Essa equação representa a conservação do momento angular da bailarina que gira livremente em torno de seu próprio eixo de rotação, ao longo da vertical. Ou seja, o momento angular é uma quantidade conservada, o que significa que ele permanece constante a menos que uma força resultante externa atue sobre o corpo rígido para alterá-lo.

3.8.1.12 Pressão, Pressão Atmosférica e Pressão de Vapor

A compreensão dos conceitos de *pressão*, *pressão atmosférica* e *pressão de vapor* é fundamental para entender o comportamento dos fluidos, que serão úteis no entendimento da ebulição da água mais adiante. Neste texto, exploraremos esses conceitos em detalhes,

discutindo como a pressão é definida, como a pressão atmosférica varia com a altitude, além de abordar a pressão de vapor e seu papel na ebulição de líquidos.

A pressão, p , é uma grandeza física que descreve a distribuição de forças (em magnitude) compressivas, F , exercidas por um fluido (líquido ou gás) sobre uma área específica (A). Ela é definida como a razão entre a força aplicada sobre uma superfície e a área dessa superfície. A unidade de medida da pressão no Sistema Internacional (SI) é o pascal (Pa). Matematicamente, podemos expressar essa grandeza por meio da seguinte equação (Chaves; Sampaio, 2007, p. 26; Luiz; Gouveia, 2006, p. 13)

$$p \equiv \frac{F}{A} \quad (44)$$

A pressão atmosférica refere-se à pressão exercida pela atmosfera da Terra em um determinado local de sua superfície. Ela é causada pelo peso do ar acima dessa região, que comprime o ar e exerce uma força sobre a superfície. A pressão atmosférica varia com a altitude, sendo maior ao nível do mar e diminuindo gradualmente à medida que a altitude aumenta. Além disso, a pressão atmosférica também varia com as condições climáticas, como mudanças de temperatura, umidade e pressão de sistemas meteorológicos. Contudo, considerando o fato que a temperatura da atmosfera decresce com a altitude, ou seja, considerando a temperatura da atmosfera uniforme em todos os pontos, e também que a altitude é muito menor do que o raio da Terra, de modo que o módulo da aceleração da gravidade pode ser considerado constante, a pressão atmosférica pode ser expressa por meio da seguinte equação exponencial (Chaves; Sampaio, 2007, p. 35; Luiz; Gouveia, 2006, p. 17)

$$p(h) = p_0 e^{-\frac{h}{H}}, \quad (45)$$

em que $p(h)$ é a pressão atmosférica em uma altitude h , p_0 é a pressão atmosférica ao nível do mar ($1,01 \times 10^5$ Pa) e H é a constante de escala da atmosfera, definida por $H \equiv p_0/g\rho_0$, donde ρ_0 é a densidade do ar ao nível do mar ($1,21 \text{ kg m}^{-3}$), g é a aceleração da gravidade local ($9,81 \text{ m s}^{-2}$). O valor numérico de H é aproximadamente igual a 8,51 km. Essa constante representa a altura característica sobre a qual ocorre uma variação significativa na pressão atmosférica, ou seja, indica o quanto a pressão atmosférica diminui à medida que a altitude aumenta. Quanto maior o valor de H , mais gradual é a diminuição da pressão com o aumento da altitude. Essa equação, conhecida como *Lei da Exponencial Decrescente da Pressão Atmosférica*, descreve a

diminuição exponencial da pressão atmosférica com o aumento da altitude. A cada aumento de H metros na altitude, a pressão atmosférica é reduzida para aproximadamente $1/e$ (cerca de 0,368) de seu valor ao nível do mar (Chaves; Sampaio, 2007). Substituindo $H = p_0/g\rho_0$ na Eq. (45) acima, temos que (Chaves; Sampaio, 2007, p. 35)

$$p(h) = p_0 e^{-\left(\frac{h g \rho_0}{p_0}\right)} \quad (46)$$

Como o ar atmosférico ao nível do mar é a referência e nessa altitude a atmosfera pode ser considerada um gás ideal, temos que

$$p_0 = \frac{m R T_0}{M V} \quad (47)$$

$$e \quad \rho_0 = \frac{m}{V} \quad (48)$$

Por fim, substituindo a Eq. (47) e a Eq. (48) no argumento da exponencial da Eq. (46), temos o modelo atmosférico padrão, também conhecido como “*Lei da Distribuição Barométrica*” (Braga, 2013, p. 9), dado por

$$p(h) = p_0 e^{-\left(\frac{g M h}{R T_0}\right)}, \quad (49)$$

em que M é a massa molar do ar ($0,02896 \text{ kg mol}^{-1}$), T_0 é a temperatura do ar no nível do mar nas *Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP)* ($273,15 \text{ K}$ ou $0 \text{ }^\circ\text{C}$), e R é a constante dos gases ideais ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

A Eq. (49) também pode ser escrita matematicamente na forma mais simplificada, segundo Grupo de Ensino de Física (2020, online) “ $p(h) = p_0 e^{-1,15 \times 10^{-4} h}$ ”, em que h é a altitude medida em metros.

É importante ressaltar que a pressão atmosférica também varia devido a fatores climáticos, como temperatura, umidade e movimentos de massas de ar. Portanto, a equação acima é uma aproximação geral e a pressão atmosférica real pode diferir ligeiramente dependendo das condições atmosféricas locais (Chaves; Sampaio, 2007).

A pressão de vapor, por outro lado, está relacionada ao equilíbrio entre um líquido e seu estado de vapor. Toda substância líquida tem uma pressão de vapor, que é a pressão exercida pelas partículas em fase de vapor na interface líquido-vapor. Quanto maior a temperatura, maior a energia cinética das partículas e maior a pressão de vapor. A pressão de vapor depende da

natureza da substância, da temperatura e das forças intermoleculares presentes (Chaves; Sampaio, 2012).

Quando a pressão de vapor de um líquido iguala-se à pressão atmosférica local, ocorre o fenômeno de ebulição. A temperatura em que a ebulição ocorre é chamada de ponto de ebulição (Chaves; Sampaio, 2007). Por exemplo, a água ferve a 100 °C ao nível do mar, onde a pressão atmosférica é de aproximadamente 1,00 atm. No entanto, em altitudes mais elevadas, onde a pressão atmosférica é menor, a água ferve a temperaturas mais baixas devido à redução da pressão de vapor necessária para atingir o equilíbrio com a pressão atmosférica local. Detalhes serão esmiuçados mais adiante.

3.8.2 Influência da Pressão no Tempo de Cozimento dos Alimentos e a Equação de Clausius-Clapeyron

Durante o processo de cozimento dos alimentos (transformação de alimentos crus em cozidos) existem alguns fenômenos físicos e químicos interessantes presentes. À medida que os alimentos vão se aquecendo durante o processo de cozimento, suas moléculas sofrem modificações, chegando ao ponto ideal de cozimento após certo tempo. O cozimento, como de praxis, normalmente se dá com o uso de uma panela, que pode ser aberta ou com a panela de pressão. Esta última consegue otimizar bastante o tempo desse processo de cozimento. E como pode-se intuir do dia a dia, há uma relação perceptível entre a pressão em uma panela com o tempo de cozimento dos alimentos na mesma. Mas como que de fato essa relação se dá?

Quando se utiliza uma panela aberta, ou qualquer outro recipiente aberto, para cozinhar os alimentos, e cujo local esteja ao nível do mar, a água utilizada para este processo vai aumentando gradativamente sua temperatura à medida que recebe energia térmica, sob a forma de calor, de uma fonte (fogão, fogueira etc.). Porém, essa temperatura estagna a um determinado valor. Este valor, conhecido como *ponto de ebulição da água*, corresponde a 100 °C e é usado como uma das referências na Termometria (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015; Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013; Chaves; Sampaio, 2007; Nussenzveig, 2014b).

O *ponto de ebulição da água* determina o valor limite em que cessa o aumento de temperatura devido ao ganho de energia térmica, e inicia uma mudança de estado físico (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015; Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013). Ou seja, a água passa do estado de menor para outro de maior energia térmica, indo, portanto, do estado líquido para o estado gasoso. Portanto, trata-se de uma *vaporização* que ocorre de forma turbulenta, com formação de bolhas em todo o interior da água (Grupo de Reelaboração do

Ensino de Física, 2015). A Figura 37 mais adiante ilustra este fenômeno. A este ponto de fervura, é necessário que a pressão máxima de vapor existente no interior das bolhas formadas dentro da água seja igual ou superior à pressão externa, que no caso de uma panela aberta, tal pressão externa é a pressão atmosférica local (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015; Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013). A partir deste ponto, toda energia fornecida para a água servirá apenas para fazer com que a mesma vaporize mais rapidamente, pois sua temperatura já não sofrerá mais alterações.

Por exemplo, após a água entrar em fervura, não adianta aumentar a chama do fogão caso esteja julgando o cozimento lento demais, pois será desperdício de gás de cozinha, uma vez que, a partir do momento da ebulição, a água não aumentará mais sua temperatura. Neste caso irá ocorrer apenas o aumento da vazão de vapor, ou seja, a rapidez com que a água irá vaporizar. Seja lá o que for que estiver em processo de cozimento, irá levar o mesmo tempo para chegar ao estado ideal, independentemente do tamanho ou intensidade da chama do fogão, já que a temperatura da água será a mesma.

Mas, o que a pressão tem a ver com isso? Como se sabe, a água, como substância macroscópica, é composta por moléculas de água cuja fórmula química é H_2O . Ou seja, é uma molécula formada por dois átomos de hidrogênio (H) e um átomo de oxigênio (O), unidos por forças eletromagnéticas intensas conhecidas na Química como *ligações covalentes* – caracterizadas pelo compartilhamento de um ou mais pares de elétrons entre os átomos (Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013). Essas moléculas se ligam umas às outras formando a substância água, ao qual enxergamos e consumimos. E a água pode apresentar um estado de agregação molecular (*sólido, líquido ou gasoso*) bem determinado, ao qual vai depender de dois fatores: *temperatura e pressão*.

O primeiro, *temperatura*, possui dois marcos principais: 0 °C e 100 °C. Estes valores são pontos de referências utilizados no estudo das escalas termométricas (Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013; Nussenzveig, 2014b; Chaves, Sampaio, 2007). O primeiro deles representa o *ponto de fusão do gelo*. Ou seja, corresponde ao valor de temperatura no qual ocorre a transição de fase da água do sólido para o líquido e vice versa. Em outras palavras, corresponde ao valor de temperatura em que o gelo começa a derreter ou a água começa a congelar. Entenda aqui que, quando é referido “gelo”, trata-se da água no estado sólido, e quando é referido “água”, trata-se da água no estado líquido. Essa transição irá depender se a água está ganhando ou perdendo energia na forma de calor. Caso ganhe energia, então a transição de fase será do sólido para o líquido, ou seja, o gelo começa a derreter. Já o segundo

deles, como dito anteriormente, representa o ponto de ebulição da água ao nível do mar, ou seja, o ponto em que ela começa a virar vapor.

O segundo fator, a *pressão*, tem uma relação muito direta no processo de transição de fase das substâncias em geral (não só a água!). Acima do nível do mar, há um fluido invisível aos olhos humanos e que envolve todo o globo terrestre. Chama-se atmosfera. Esta atmosfera, composta predominantemente pelos gases Nitrogênio (78%) e Oxigênio (21%), sofre influência da gravidade terrestre, pois seus elementos possuem massa (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015; Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013). E tudo que tem massa interage com campos gravitacionais. Portanto, o ar atmosférico acima do nível do mar acaba exercendo uma pressão sobre tudo que é envolvido por ela. E isso ocorre com a água sendo fervida em uma panela aberta numa altitude ao nível do mar, por exemplo. E quanto mais alto em relação ao nível do mar um objeto estiver, menor é a coluna de ar acima dele e, conseqüentemente, menos massa tem em cima do mesmo, resultando numa menor pressão atmosférica sobre ele. Ou seja, a pressão atmosférica varia com a altitude. E com o aumento da altitude, a pressão atmosférica diminui, resultando na diminuição da temperatura de ebulição da água, por exemplo. Contudo, a pressão atmosférica é predominantemente resultada das incessantes colisões das partículas constituintes da atmosfera terrestre. Como essas partículas encontram-se em constante movimento desordenado, acabam por colidir umas com as outras e também com as superfícies em seus entornos. Essas colisões resultam numa interação denominada “força” e a soma de todas as forças individuais sobre uma unidade de área específica dessa superfície é o que denominamos como sendo a “pressão atmosférica”. Por conta disso é que a pressão atmosférica ao nível do mar é mais elevada, uma vez que nesse ponto há uma maior densidade de partículas de ar devido a coluna de ar acima ser maior. Portanto, à medida que a altitude em relação ao nível do mar vai aumentando, a frequência das colisões entre essas partículas e a superfície vai diminuindo devido a menor densidade dessas partículas por conta da coluna de ar logo acima ser menor, resultando numa menor pressão atmosférica.

Para se cozinhar os alimentos em grandes altitudes, por exemplo, é essencial utilizar uma panela de pressão para compensar a baixa pressão atmosférica, pois à medida que a altitude vai aumentando em relação ao nível do mar, o ponto de ebulição da água diminui. Contudo, a pressão absoluta dentro da panela de pressão é sempre menor em altitudes mais elevadas, pois o regulador trabalha utilizando a diferença entre a pressão interna e a pressão ambiente (Academic Accelerator, s.d.; Nunes, 2017).

Panelas de pressão normalmente operam na faixa de 0,8 a 1,0 bar de pressão manométrica (1,8 a 2,0 bar de pressão absoluta), o que acelera o cozimento. Esta configuração

foi padronizada em 1,0 bar pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América em 1917. A esta pressão, a água ferve a 121 °C, tornando o processo de cozimento eficiente e rápido (Academic Accelerator, s.d.; Nunes, 2017).

Segundo Silveira (2020), a pressão manométrica representa a diferença entre a pressão absoluta (dentro da panela) e a pressão externa (atmosférica local) é definida pela válvula reguladora de pressão da panela de pressão. Isso implica em que, se o peso da válvula for aumentado, isso acarretará em um aumento na pressão interna da panela, resultando em temperaturas maiores. No entanto, usualmente, as válvulas de controle são projetadas para serem abertas a partir de uma pressão de 1,00 atm. E isso resulta que, dentro da panela de pressão, na circunstância mencionada, a pressão não pode ultrapassar 2,00 atm, uma vez que o nível do mar representa o ponto cuja maior pressão atmosférica é encontrada. O autor ainda considera que a pressão muda de forma não desprezível à medida que vai se elevando a altitude do local em relação ao nível do mar. Dessa forma, para se cozinhar um alimento em um local cuja altitude, por exemplo, implique em uma pressão atmosférica local de cerca de 0,30 atm, no mesmo tempo que ele seria cozido se a panela de pressão estivesse ao nível do mar, a válvula de controle de pressão dessa panela deveria ser substituída por uma mais pesada, de tal forma que para seu acionamento, fosse necessário uma pressão de 1,30 atm, resultando em uma pressão absoluta dentro da panela de 2,00 atm e uma temperatura de 120 °C, conforme pode ser visto no gráfico da Figura 36.

Tabela 2 – Pontos de ebulição da água para diferentes altitudes a partir do nível do mar.

Altitude (km)	Pressão (atm.)	Temperatura (°C)	Altitude (km)	Pressão (atm.)	Temperatura (°C)
40,87	0,0082	0	1,51	0,8369	95
38,15	0,0113	5	0,00	1,0000	100
35,46	0,0155	10	***	1,1891	105
32,91	0,0209	15	***	1,4077	110
30,45	0,0279	20	***	1,6592	115
28,06	0,0370	25	***	1,9475	120
25,75	0,0485	30	***	2,2767	125
23,53	0,0630	35	***	2,6512	130
21,37	0,0812	40	***	3,0759	135
19,28	0,1038	45	***	3,5558	140
17,25	0,1317	50	***	4,0963	145
15,29	0,1658	55	***	4,7032	150
13,40	0,2073	60	***	5,3827	155
11,54	0,2576	65	***	6,1411	160
9,75	0,3180	70	***	6,9854	165
8,01	0,3902	75	***	7,9226	170
6,31	0,4761	80	***	8,9605	175
4,67	0,5776	85	***	10,1068	180
3,07	0,6971	90	***	11,3698	185

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

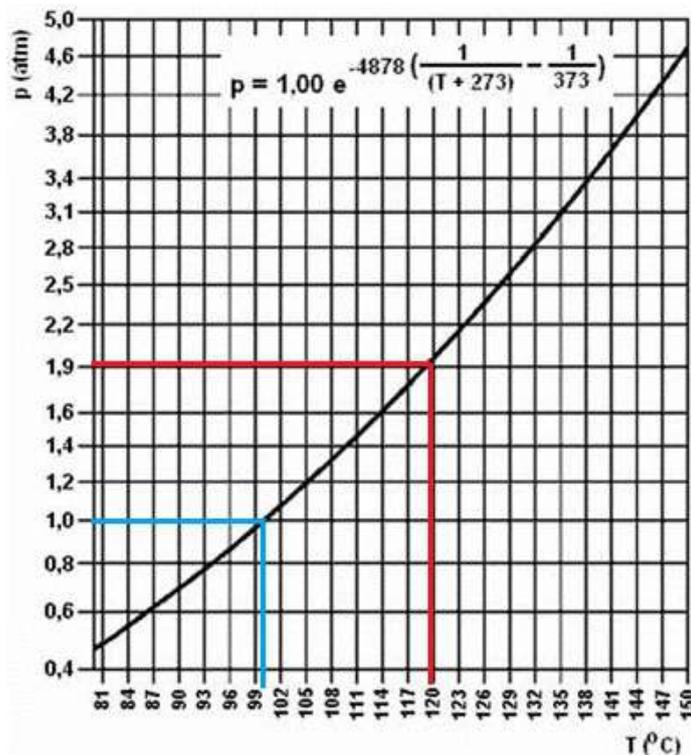
Esses dados apresentados na Tabela 2 acima foram obtidos a partir da resolução numérica da equação de Clausius-Clapeyron por meio do código de implementação $p=p_0*\mathit{exp}^{[-4889,34*(-1/373,15+1/(273,15+T))}$ em linguagem de programação Python (Apêndice C). As condições iniciais adotadas foram que $p_0=1,00$ atm (a partir do nível do mar) e T assumindo valores de uma progressão aritmética de razão igual a 5 (variação de temperatura de 5 °C). Já os valores para as respectivas altitudes foram obtidos a partir da resolução numérica da equação $h=-8,51*\mathit{ln}(p/p_0)$, também por meio da implementação com o uso da linguagem de programação Python. As pressões abaixo de 1,00 atm mostradas nessa tabela resultariam em valores negativos para altitudes, ou seja, seriam pontos abaixo do nível do mar, o que não faz sentido na pesquisa, ainda mais que essa equação só leva em conta a pressão atmosférica e não atmosférica mais hidrostática.

Logo, observando o comportamento dos dados da Tabela 2, percebemos que a cada 1.510 m de altitude, aproximadamente, a temperatura de ebulição da água reduz 5 °C, pode-se constatar que essa relação se dá, aproximadamente, em 1 °C de redução na temperatura de ebulição da água a cada 302 m de elevação da altitude em relação ao nível do mar. Esses valores encontrados nesta pesquisa, conforme tabela apresentada, estão bem próximos dos referenciados por Academic Accelerator (s.d.), que é 1 °C de redução na temperatura para cada elevação de 294 m de altitude, e com os valores representados no gráfico da Figura 36 gerado por Silveira (2013). Para obter essa relação, é só simplificar a relação mencionada dividindo ambos os valores de variações de altitude e temperatura por 5.

A função principal da panela de pressão é cozinhar alimentos em temperaturas significativamente mais elevadas do que as alcançadas em recipientes abertos convencionais. Enquanto em um recipiente aberto o cozimento ocorre à temperatura de 100 °C, sob a pressão atmosférica padrão de 1,00 atm, as panelas de pressão permitem elevar consideravelmente a pressão interna. Comumente, a pressão interna pode ser cerca de 1,00 atm acima da pressão externa, chegando a aproximadamente 2,00 atm (Silveira, 2013; Nunes, 2017).

Essa pressurização do ambiente interno da panela acelera o processo de cozimento e proporciona maior eficiência energética. Ao elevar a pressão interna, a temperatura da água aumenta além dos 100 °C, permitindo um cozimento mais rápido e efetivo dos alimentos. Como resultado, a panela de pressão se torna uma aliada poderosa na preparação de refeições num tempo menor (Silveira, 2013; Nunes, 2017). A Figura 36 ilustra um gráfico relacionando a temperatura de ebulição da água pura com a pressão máxima de vapor da mesma (Tabela 2).

Figura 36 – Gráfico da equação de Clausius-Clapeyron relacionando a temperatura de ebulição da água com a pressão externa a água



Fonte: Adaptado de Silveira (2013, online).

De acordo com o gráfico na Figura 36 e a Tabela 2 pode-se então prever que ao nível do mar, onde a pressão atmosférica é de 1,00 atm, a temperatura na panela de pressão alcançada é aproximadamente 120 °C, o que permite um cozimento mais rápido do que uma panela aberta nesse mesmo local. Além disso, uma vez em ponto de fervura, pode-se reduzir a intensidade da chama do fogão a fim de se economizar gás, pois segundo Dourado (2021, online) “em um país em que o gás de cozinha chega a custar R\$ 135 por botijão, segundo dados da Agência Nacional de Petróleo (ANP), tudo é válido na hora de economizar – e a panela de pressão também pode ser uma aliada do bolso”.

No topo do monte Everest, por exemplo, que está a 8.848 m acima do nível do mar, a temperatura de ebulição da água nesse ponto seria algo entre 70 °C e 75 °C (Silveira, 2020; Academic Accelerator, s.d.), conforme consta na Tabela 2.

De fato, como consta na literatura, o valor aproximado para a fervura da água no topo desse monte é 72 °C (Locatelli, 2019). De fato, o valor encontrado aqui nesta pesquisa, utilizando a pressão atmosférica na altitude do topo do monte Everest, que corresponde aproximadamente a 36% da pressão atmosférica ao nível do mar (Grupo de Ensino de Física, 2020; Silveira, 2020), na equação de Clausius-Clapeyron, o valor encontrado foi de 73,13 °C, o que condiz com os resultados acima. Sendo assim, sem o uso de uma panela de pressão, os

alimentos podem demorar muito tempo para ficarem cozidos, ou mesmo ficar crus. Conforme descrito pelo próprio Charles Darwin (1809 – 1882) no volume III de “Viagens e Aventuras do Beagle” (capítulo XVII: “Diário e Observações”, 21 de março de 1835)

Tendo cruzado os Peuquenes, nós descemos por uma região montanhosa, intermediária entre as duas cordilheiras principais, e então tratamos do nosso acampamento para a noite. Nós estávamos agora na república de Mendoza. A elevação provavelmente não era de menos de 11.000 pés [...]. No lugar em que dormimos, *a água necessariamente fervia, devido à menor pressão da atmosfera, a uma temperatura menor do que ela faz em um local menos alto*; o caso é o inverso daquele da marmitta de Papin. Logo, *as batatas, depois de ficar algumas horas na água fervente, estavam quase tão duras como antes. O pote foi deixado no fogo por toda a noite, mas mesmo assim as batatas não estavam cozidas* (Darwin; 1839, p. 396, tradução nossa, grifo nosso).

Essa frase faz parte do livro "Viagens e Aventuras do Beagle", escrito por Darwin (1839), podendo ser encontrada no capítulo XVII “Diário e Observações”. O capítulo desse livro descreve a extraordinária viagem que Darwin (1839) realizou ao redor do mundo a bordo do famoso navio de pesquisas, HMS Beagle, do Capitão Robert FitzRoy (1805 – 1865), entre os anos de 1832 e 1836. Porém, nessa passagem específica citada acima, Darwin (1839) relata sua expedição pela região montanhosa entre as cordilheiras dos Andes, chamadas de Peuquenes, durante sua estadia na república de Mendoza, província da Argentina, na América do Sul. Ele menciona as dificuldades enfrentadas com a altitude elevada de 11 mil pés (aproximadamente 3.353 m), onde a pressão atmosférica é menor do que ao nível do mar e, portanto, a água ferve a uma temperatura menor do que em altitudes mais baixas. Isso afetou o cozimento das batatas, que permaneceram quase tão duras quanto antes, mesmo após horas de fervura, devido à dificuldade em alcançar uma temperatura adequada para o cozimento completo (Academic Accelerator, s.d.).

Como a região relatada por Darwin (1839) está a cerca 3,35 km de altitude em relação ao nível do mar, pode-se estimar a temperatura que fez com que as batatas ficassem no fogo durante toda a noite. A partir daí, usando a Eq. (45), a pressão atmosférica nesse local pôde ser determinada, cujo valor é aproximadamente 0,67 atm. Usando a equação de Clausius-Clapeyron constata-se que a temperatura da água ao ferver as batatas deveria ser em torno de 90,23 °C. Porém, mesmo a essa altitude, de acordo com a Tabela 2 e o gráfico na Figura 36, seria possível cozinhar as batatas com uma panela pressão gastando o mesmo tempo que se estivesse cozinhando ao nível do mar. Contudo, para esse feito, a panela de pressão deve possuir uma válvula de controle de pressão interna pesada o suficiente para produzir uma pressão manométrica de aproximadamente 1,33 atm, que somada com a pressão atmosférica local,

resultaria em uma pressão interna de aproximadamente 2,00 atm, o que equivale a uma temperatura de 120 °C e permitindo o cozimento mais rápido das batatas (Silveira, 2013).

Isso revela a peculiaridade e os desafios enfrentados ao cozinhar em altitudes elevadas. A diminuição da pressão atmosférica nessas regiões afeta o ponto de ebulição da água, resultando em temperaturas mais baixas. Isso significa que alimentos que normalmente cozinham rapidamente podem demorar muito mais tempo ou até mesmo permanecerem crus. É interessante refletir sobre como fatores como altitude e pressão atmosférica podem influenciar até mesmo processos cotidianos como cozinhar, ressaltando a complexidade e a diversidade dos desafios que a natureza apresenta em diferentes partes do mundo.

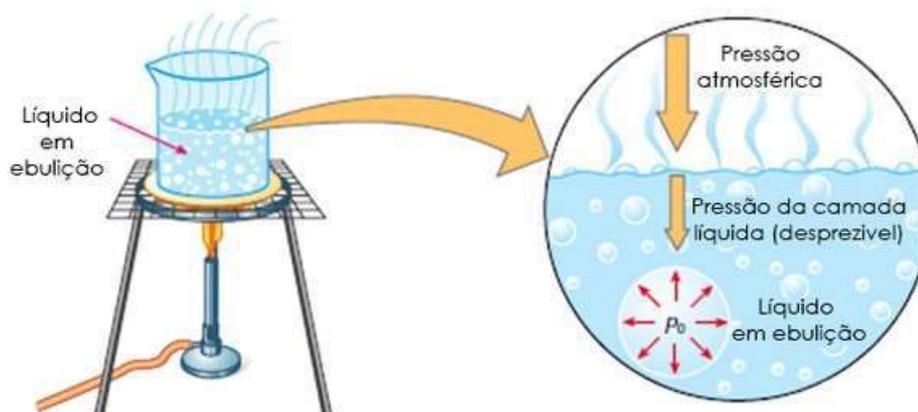
Ao passo que, à medida que as moléculas de água ganham energia térmica na forma de calor, aumentam suas energias cinéticas totais e, conseqüentemente, a temperatura da água como um todo, que está relacionada com o grau de agitação térmica dessas moléculas, aumenta junto (Pietrocola *et al.*, 2013). Essas moléculas tendem a se afastar umas das outras, pois ganham mais velocidade de translação (além de velocidade angular!) devido ao incremento de energia (Torres *et al.*, 2016b). Quando chega na superfície da água, essas moléculas mais energizadas se deparam com uma fina membrana elástica de água, feita a partir das forças de coesão de moléculas semelhantes numa ligação química mais intensa na interface, que é a *tensão superficial*. Quando o fornecimento de energia é suficiente a ponto de fazer com que essas moléculas consigam romper essa membrana elástica, ou seja, vencer as forças elétricas de coesão exercida pela tensão superficial na superfície da água, e ir para o exterior da panela, temos então o chamado *ponto de ebulição da água* e a saída de vapor (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015).

Mas, como dito antes, fora da panela existe uma espessa camada de ar exercendo uma pressão sobre tudo. Portanto, o ar ao exercer pressão sobre a superfície da água, faz com que a “barreira” imposta às moléculas de água aquecidas no interior da panela tenham mais dificuldades de transpassa-la e sair, dificultando assim, a ebulição. É como se o ar empurrasse a superfície da água para dentro, análogo a uma pessoa que tenta abrir uma porta e tem outra do lado oposto exercendo uma força contrária, dificultado a abertura da mesma e, conseqüentemente, a saída de quem tenta abri-la.

Dito isso, pode-se concluir que, a ao passo que a temperatura favorece a ebulição da água, a pressão dificulta. Portanto, quanto maior for a pressão sobre a superfície da água, mais dificuldade ela terá de vaporizar e, conseqüentemente, maior será seu ponto de ebulição, ou seja, maior será a temperatura em que ela começará a ferver. E isso resulta numa aplicação muito importante durante o processo de cozimento dos alimentos, que é a seguinte: se

aumentarmos a pressão sobre a água, enquanto ela está no fogo, ela começará a ferver numa temperatura maior do que os 100 °C, portanto, o tempo que um determinado alimento leva para cozinhar será reduzido devido ao aumento de energia cinética das moléculas da água. Uma forma prática de se fazer isso é utilizando a *panela de pressão*.

Figura 37 – Influência da pressão sobre a temperatura de ebulição da água.



Fonte: Dutra (© 2000 – 2015, online).

Comumente utilizada para o preparo mais rápido dos alimentos do que em panelas abertas, a panela de pressão conta com o surgimento de uma pressão adicional à pressão atmosférica sobre a superfície da água em seu interior. Esta pressão adicional é devido ao peso da válvula central de controle de pressão da panela. Ou seja, a pressão máxima interna à panela é a pressão externa somada à pressão exercida pela válvula. Devido a esta pressão adicional, a pressão no interior da panela, e conseqüentemente sobre a superfície da água em seu interior, torna-se maior do que a pressão atmosférica. Isto, como dito anteriormente, faz com que o ponto de ebulição da água aumente. Ou seja, a água começará a ferver a uma temperatura superior aos 100 °C (Torres *et al.*, 2016b; Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015).

Ao se fechar a panela de pressão, uma quantidade de ar com pressão igual a pressão atmosférica já existe em seu interior. Devido ao fato de a tampa da panela possuir uma borracha de vedação em suas bordas, que, ao ser aquecida, os vapores de água vão se expandindo sem poder escapar. Deste modo, as pressões do ar aprisionado e dos vapores de água em seu interior se somam, aumentando a pressão interna resultante sobre a água. Com a pressão aumentada, a água lá dentro demora mais tempo para atingir seu ponto de ebulição, resultando um fornecimento maior de energia térmica aos alimentos no interior da panela em um menor tempo

(Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015). Ou seja, cozinhando os mesmos mais rapidamente.

Em escalas microscópicas, à medida que a água é aquecida, ou seja, recebe energia térmica na forma de calor, suas moléculas ficam mais agitadas, fazendo com que a água inicie para o estado de vapor mais rapidamente (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015). E isso faz com que surjam as bolhas que vemos no fundo da panela. No começo, a pressão exercida pelos vapores é menor do que a pressão atmosférica. Por conta disto, a água não ferve de imediato. No entanto, à medida que a temperatura vai se elevando, a pressão máxima de vapor dentro da bolha vai se tornando igual e, por fim, superior à pressão atmosférica. A partir daí, a água começa a entrar em ebulição (ferver).

Fora da panela, e ao nível do mar, a pressão atmosférica é de 1,00 atm ou 760 mmHg. Mas dentro da panela de pressão este valor oscila entre 1,44 atm e 2,00 atm. Com isso, a água dentro da panela de pressão irá ferver a aproximadamente 120 °C (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015). É esse aumento na temperatura de ebulição da água que faz o fornecimento de energia térmica aos alimentos ser maior e em menos tempo.

Logo, é notável que se a pressão atmosférica for menor, em lugares mais elevados, por exemplo, a pressão necessária para que os vapores dentro da panela devam ter para se igualar à pressão externa e a água começar a ferver, também será menor, visto que *“a pressão absoluta dentro da panela de pressão é sempre menor em altitudes mais elevadas, pois o regulador trabalha utilizando a diferença entre a pressão interna e a pressão ambiente”* (Academic Accelerator, s.d.). Portanto, isso implicará um ponto de ebulição menor, resultando num maior tempo de preparo dos alimentos.

Mas se a pressão atmosférica for maior, como em lugares mais baixos, dentro da panela de pressão essa temperatura de ebulição será maior, resultando num menor tempo de preparo dos alimentos, como dito anteriormente. No geral, as panelas de pressão chegam a economizar cerca de 70 % da energia usada durante o cozimento dos alimentos do que em uma panela aberta (Academic Accelerator, s.d.).

Porém, a pressão dentro da panela só aumenta até certo valor. Qualquer acréscimo de pressão que faça com que a pressão interna ultrapasse este valor, faz com que a válvula central de controle de pressão (válvula de contrapeso), posicionada no centro da tampa, seja empurrada para cima pelo vapor, que possui energia térmica suficiente para ser convertida em energia mecânica e, movê-la, permitindo o escape do excesso de vapor para o ambiente e reduzindo a pressão interna. Tal acréscimo de pressão é devido ao peso colocado sobre a área da seção transversal do pequeno tubo que se projeta para fora (Grupo de Reelaboração do Ensino de

Física, 2015). E quando essa pressão interna voltar a ser um pouco inferior à pressão externa, a válvula de contrapeso desce, obstruindo novamente a saída, fazendo a pressão interna aumentar novamente, e o processo ir se repetindo. Mas, se houver falha nesta válvula, após a pressão interna ultrapassar a externa, uma outra válvula adicional (válvula de segurança), normalmente de cor vermelha e também localizada na tampa da panela de pressão, é acionada, liberando todo o vapor do interior da panela, evitando que a mesma exploda e cause sérios danos.

Ao tentarmos abrir uma garrafa de água que ficou sob influência dos raios solares por determinado tempo, notamos um som similar ao de um assobio. Este fenômeno é devido à pressão de vapor, que é a pressão exercida nas paredes internas de um recipiente fechado (Oliveira, 2005). E neste caso, a garrafa é um sistema fechado (não entra nem sai matéria). Quando a substância dentro dele, neste caso, a água, evapora devido a influência do Sol, a mesma converte-se para o estado gasoso, admitindo a forma de vapor de água. E é este vapor que exerce força nas paredes internas do recipiente fechado, aumentando a pressão interna.

O mesmo ocorre com o cozimento de alimentos na panela de pressão. A diferença é que nesta situação a água ganha energia da chama do fogão por meio da condução térmica da mesma da panela para a água em seu interior. Em seguida, a parte inferior da água dentro da panela, mais quente e, conseqüentemente, menos densa, sobe, enquanto a parte superior, menos quente e, conseqüentemente, mais densa, desce, caracterizando o processo de transferência de calor por convecção. Após atingir a temperatura de ebulição local, a água começa a transitar do estado líquido para o estado gasoso, sob a forma de vapor de água, que se acumula dentro da panela, entre a parte líquida e a parte “vazia”, que contém apenas ar. E isso faz com que este vapor exerça uma pressão sobre as paredes internas da panela de pressão, bem como sobre a superfície da água ainda líquida. Esse aumento da pressão, irá influenciar o ponto de ebulição da água, ao qual passará a ferver em uma temperatura maior do que a temperatura de ebulição local.

Para se calcular a pressão de vapor em uma panela de pressão a uma dada temperatura não se deve utilizar a Equação Geral de Estado dos Gases Ideais, pois o que existe dentro da panela é ar, vapor de água e água líquida e a pressão de vapor cresce mais rapidamente com a temperatura do que acontece com um gás ideal. A forma de se estimar a pressão, conhecida a temperatura, é utilizando a *Lei de Clausius-Clapeyron* (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Nunes, 2017), pois esta permite se obter a pressão de vapor saturado da água em função da temperatura, uma vez que faz uma relação entre estas duas grandezas físicas no interior da panela de pressão durante o cozimento dos alimentos, descrevendo a transição de fase líquido-vapor entre duas fases de substâncias puras, ou seja, da matéria que têm a mesma composição (neste caso, a água). Esta relação é devida às contribuições científicas no campo da

Termodinâmica de Rudolf Clausius e Benoit Emile Clapeyron (1799 – 1864) e foi desenvolvida no período da I Revolução Industrial, com o advento das máquinas térmicas que alavancaram a situação econômica dos industriais da época, ao mesmo tempo que aumentava o desemprego nas fábricas.

Em outras palavras, a equação de Clausius-Clapeyron descreve a relação entre a pressão de vapor de um líquido e a temperatura de ebulição desse líquido. Para um líquido em equilíbrio com o seu vapor, podemos considerar que o líquido é composto de moléculas que escapam da superfície do líquido e se tornam gás em um espaço acima do líquido. A pressão de vapor desse líquido é a pressão exercida pelas moléculas do gás sobre o líquido em equilíbrio.

A *Lei de Dalton das Pressões Parciais* estabelece que a pressão total exercida por uma mistura de gases é a soma das pressões parciais de cada gás. No caso de um líquido em equilíbrio com o seu vapor, a pressão total é a soma da pressão do vapor e da pressão atmosférica. Podemos escrever essa relação como (Luiz; Gouveia, 2006, p. 89; Barreto, 2009, p. 14; Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2006, p. 64)

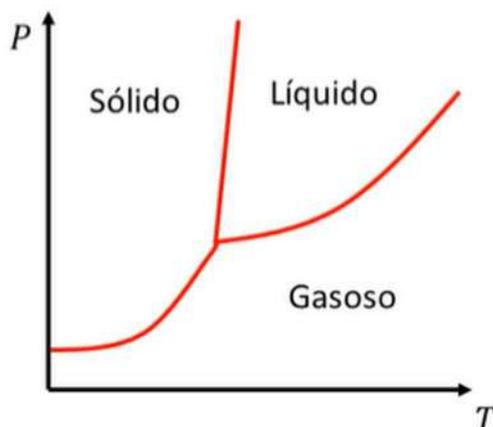
$$p_{total} = p_{vapor} + p_{atm} \quad (50)$$

A pressão de vapor de um líquido depende da temperatura. Quanto maior a temperatura, maior a energia cinética das moléculas, o que aumenta a probabilidade de que as moléculas escapem da superfície do líquido e se tornem vapor (Luiz; Gouveia, 2006; Professor Thiago, 2019).

Quando se fala em transição de fase de substâncias puras, deve-se levar em conta os *diagramas de fases*, que são diagramas de equilíbrio de pressão, p , e temperatura, T , que indicam a fase mais estável da substância em cada uma das três regiões de estabilidade, aos quais são separadas por linhas que representam as transições de fases entre duas regiões de estabilidade, ou seja, é onde há uma coexistência de duas fases da substância pura (Oliveira, 2005; Professor Thiago, 2019).

No ponto de junção entre as três linhas, temos o *ponto triplo*, que representa o valor de pressão, p , e temperatura, T , na qual a substância pura coexiste nas suas três fases de agregação molecular. E o equilíbrio das fases pode ser descrito em termos do *potencial químico*, μ (Oliveira, 2005; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Professor Thiago, 2019). Com isso, tal equilíbrio ocorre quando os potenciais químicos das fases em coexistência são iguais. Ou seja, sobre qualquer ponto contido sobre as linhas de separação de duas fases bem definidas, os potenciais químicos destas fases em coexistências serão sempre iguais.

Figura 38 – Diagrama de fases $p \times T$ de uma substância hipotética.



Fonte: Professor Thiago (2019, online).

Dito isso, a equação de Clausius-Clapeyron serve para indicar a inclinação de cada uma dessas curvas (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Professor Thiago, 2019), ao qual estão relacionadas às propriedades termodinâmicas da substância pura, como a entalpia de transição e o volume de transição, por exemplo.

No caso da panela de pressão, como temos uma transição ocorrendo entre as fases líquida e gasosa da água, temos que os potenciais químicos destas fases durante a transição são iguais (Oliveira, 2005; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Professor Thiago, 2019). Logo, temos que o potencial químico da água na fase líquida, μ_L , é igual ao potencial químico da água na fase gasosa, μ_G . Portanto, temos que $\mu_L = \mu_G$.

Considerando esses dois pontos distintos e infinitesimalmente separados sobre a curva líquido-gasoso, temos que $d\mu_L = d\mu_G$ (Professor Thiago, 2019). Com isto, da Termodinâmica, temos que num sistema pVT , as condições de equilíbrio entre as fases serem igualdades de pressão e temperatura, indica que há um potencial termodinâmico privilegiado para tratar as transições de fase, que é a energia livre de Gibbs, é dado por (Oliveira, 2005, p. 60; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998, p. 273)

$$dG = -S dT + V dp + \mu dN \quad (51)$$

Porém, no caso de substâncias puras, o potencial químico se identifica com a energia livre de Gibbs molar, o que resulta na equação de Gibbs-Duhem (Oliveira, 2005, p. 62; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998, p. 246)

$$d\mu = -s dT + v dp \quad (52)$$

Portanto, combinando esta equação com a igualdade dos potenciais químicos das fases líquidas e gasosa, temos

$$-s_L dT + v_L dp = -s_G dT + v_G dp \quad (53)$$

Reagrupando os termos em Eq. (53), temos

$$s_G dT - s_L dT = v_G dp - v_L dp \quad (54)$$

Colocando os termos comuns em evidência na Eq. (54), temos

$$(s_G - s_L) dT = (v_G - v_L) dp \quad (55)$$

Reorganizando a Eq. (55), temos que as variações de pressão e temperatura que garantem a manutenção do equilíbrio de fases relaciona-se por (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998, p. 327; Nunes, 2017, online)

$$\frac{dp}{dT} = \frac{s_G - s_L}{v_G - v_L} \quad (56)$$

Como $s_G - s_L = \Delta s_{vap}$ é a *entropia molar de transição* (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998), ao qual se relaciona com a *entalpia molar de transformação* por $\Delta s_{VAP} = \Delta h_{VAP} / T$, mostra que o processo de transição de fase é reversível. Logo, temos que a Equação (56) se torna

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta h_{VAP}}{T(v_G - v_L)} \quad (57)$$

Como o volume molar de um gás, v_G , é sempre maior do que o volume molar do líquido, v_L , $v_G - v_L > 0$, e como a entalpia molar aumenta quando se passa do estado líquido para o gasoso, $h_G - h_L > 0$, implica que a temperatura de ebulição da água aumenta à medida que a pressão aumenta (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998). Isto explica o fato do porque os alimentos cozinharem mais rapidamente quando preparados numa panela de pressão do que numa panela comum aberta.

Segundo Guémez, Fiolhais e Fiolhais (1998) e Oliveira (2005) durante a transição de fase líquido-gasoso ocorrida dentro da panela de pressão durante o preparo dos alimentos, se o vapor formado for considerado como um gás ideal, e supondo que Δh_{VAP} variar muito pouco com a temperatura e ainda se $v_G \gg v_L$, o que implica $v_L \rightarrow 0$, e se dividirmos a *equação de estado para um gás ideal*⁷, $pV = nRT$, pelo número de moles, n , resultando $pv_G = RT$, em que isolamos o volume molar no estado gasoso, obtendo $v_G = RT/p$ e substituímos na equação acima, temos (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998, p. 328)

$$\frac{dp}{dT} = \frac{p \Delta h_{VAP}}{RT^2} \quad (58)$$

Fazendo a separação de variáveis da equação diferencial linear ordinária de 1ª ordem acima, temos (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998, p. 328)

$$\frac{dp}{p} = \frac{\Delta h_{VAP}}{R} \frac{dT}{T^2} \quad (59)$$

Integrando de ambos os lados em Eq. (59) e assumindo que a entalpia molar de vaporização, Δh_{VAP} , é constante no intervalo de temperatura de interesse, e sendo R a constante universal dos gases perfeitos, temos

$$\int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = \frac{\Delta h_{VAP}}{R} \int_{T_0}^T \frac{dT}{T^2}$$

O que resulta em

$$[\ln p]_{p_0}^p = \frac{\Delta h_{VAP}}{R} \left[-\frac{1}{T} \right]_{T_0}^T$$

Logo, temos que

⁷ Equação de Clapeyron é uma equação de estado para um gás ideal (Nussenzveig, 2014b; Chaves; Sampaio, 2007; Luiz e Gouveia, 2006).

$$\ln p - \ln p_0 = \frac{\Delta h_{VAP}}{R} \left(-\frac{1}{T} + \frac{1}{T_0} \right)$$

Fazendo uma manipulação algébrica, temos que

$$\ln p - \ln p_0 = -\frac{\Delta h_{VAP}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

Da propriedade fundamental dos logaritmos, temos um resultado similar ao obtido por Braga (2013, p. 9), que é

$$\ln \left(\frac{p}{p_0} \right) = -\frac{\Delta h_{VAP}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \quad (60)$$

Aplicando a exponencial em ambos os lados na Eq. (60), temos

$$\exp \ln \left(\frac{p}{p_0} \right) = \exp \left[-\frac{\Delta h_{VAP}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (61)$$

Logo, como a exponencial e a logarítmica são funções inversas uma da outra, temos que a Eq. (61) se torna

$$\frac{p}{p_0} = \exp \left[-\frac{\Delta h_{VAP}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (62)$$

Multiplicando ambos os lados da Eq. (62) por p_0 , temos

$$p = p_0 \exp \left[-\frac{\Delta h_{VAP}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \quad (63)$$

Que é a *equação de Clausius-Clapeyron* na forma exponencial, tal qual consta em (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998, p. 328). Esta equação exponencial, Eq. (63), foi deduzida matematicamente por Carnot quando o mesmo tentava compreender como a temperatura e a

pressão em uma máquina a vapor variavam e ela só é válida quando há uma coexistência entre duas fases de uma substância (Nunes, 2017). As variáveis desta equação são:

- Δh_{VAP} é a entalpia molar de vaporização do líquido; neste caso, a água. Este valor pode ser encontrado tabelado na literatura, que neste caso, o valor é $40.687,92 \text{ J mol}^{-1}$;
- R é a constante universal dos gases ideais, ou $8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$;
- T_0 é a temperatura absoluta de transição de fase cuja temperatura correspondente é conhecida;
- T é a temperatura absoluta final. Ou seja, a temperatura na qual a pressão de vapor deve ser encontrada;
- p_0 é a pressão máxima de vapor à temperatura inicial T_0 . No caso da água, temos $T_0 = 273,15 \text{ K}$ ($100 \text{ }^\circ\text{C}$) para $p_0 = 101.325 \text{ Pa}$ ($1,00 \text{ atm}$) como ponto de ebulição;
- p é a pressão máxima de vapor à temperatura final T .

A entalpia de vaporização da água, ΔH_{vap} , por sua vez, é uma propriedade termodinâmica que representa a quantidade de energia necessária para transformar uma dada quantidade de água líquida em vapor a uma pressão constante. A fórmula que descreve a entalpia de vaporização da água em termos de variação da energia interna (ΔU) e trabalho realizado ($p \Delta V$) é a dada por (Connor, 2019, online)

$$\Delta H_{vap} = \Delta U + p \Delta V \quad (64)$$

Em que as variáveis dessa equação são:

- ΔH_{vap} é a entalpia de vaporização da água;
- ΔU é a variação da energia interna do sistema;
- p é a pressão constante durante a vaporização;
- ΔV é a variação no volume do sistema.

Essa equação é útil para entender como a energia interna do sistema muda durante o processo de vaporização da água, levando em consideração o trabalho realizado pela expansão do vapor e a pressão constante. Em condições normais de pressão e temperatura, a entalpia de vaporização da água é aproximadamente $40,7 \text{ kJ mol}^{-1}$ ou $2,26 \text{ MJ kg}^{-1}$, o que significa que para

vaporizar um mol de água ou um quilograma de água, é necessária essa quantidade de energia, respectivamente. Isso faz da entalpia de vaporização um conceito importante na Física, Química e Engenharia (Connor, 2019).

De acordo com Guémez, Fiolhais e Fiolhais (1998) e Oliveira (2005), esta equação relaciona a inclinação da curva de coexistência no diagrama p - T , em que para a transição de fase líquido-vapor, cuja entropia no estado gasoso é maior que no estado líquido, pois a fase gasosa sempre ocorre a temperaturas mais elevadas que a fase líquida, com o volume molar do estado gasoso maior que do estado líquido, pois o vapor sempre possui volume molar maior que no estado líquido, a temperatura de ebulição da água aumenta à medida que aumenta a pressão. Mas ela tem validade para quaisquer uma das três curvas de coexistência. Desta equação temos que $dp/dT > 0$, o que resulta na conclusão de que a curva de coexistência líquido-vapor possui inclinação positiva no diagrama p - T (Oliveira, 2005).

Dito isso, a *Equação de Clausius-Clapeyron* permite fazer uma previsão teórica da pressão de vapor em função da temperatura ou conhecer o calor de transição de fase a partir das pressões de vapor de duas temperaturas (Oliveira, 2005; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998). Esta lei pode ser representada graficamente a partir de uma curva que faz a relação entre temperatura e pressão de um líquido, cuja equação fornece a inclinação da reta tangente à esta curva (Silveira, 2013), conforme Figura 36. Portanto, a temperatura de ebulição da água no interior de uma panela de pressão cresce exponencialmente com o aumento da pressão interna sobre ela.

3.8.3 As Propagações de Calor Presentes no Cozimento dos Alimentos

Durante o processo de cozimento dos alimentos, ocorrem diferentes formas de propagação do calor: *condução*, *convecção* e *irradiação*. Cada uma dessas formas desempenha um papel importante na transferência de calor e contribui para o cozimento eficiente dos alimentos.

A *condução térmica* desempenha um papel fundamental no cozimento dos alimentos. A fonte de calor, como o fogão ou uma chama, entra em contato direto com a base da panela. A partir desse contato, o calor é transferido para a panela por condução térmica. Como a panela de pressão é geralmente feita de materiais com boa condutividade térmica, como metais (alumínio, inox, cobre, ferro fundido etc.), o calor se propaga rapidamente pela superfície da panela, aquecendo as partes de água próxima a ela que, por sua vez, transfere calor para os alimentos imersos nela também pelo mecanismo da condução. É por essa razão que panelas de

cobre ou ferro fundido são frequentemente utilizadas na culinária, pois esses materiais conduzem o calor de forma mais eficaz, resultando em um cozimento mais rápido e uniforme.

Os alimentos, por sua vez, são compostos de moléculas que estão em constante movimento. Quando o alimento entra em contato com a água quente dentro da panela, as moléculas próximas recebem energia térmica e começam a vibrar mais intensamente. Esse aumento de energia é transferido para as moléculas vizinhas através das colisões moleculares, e assim o calor se propaga através do alimento.

A transferência de calor por esse processo ocorre através do contato direto entre partículas de matéria constituintes da panela, sem que haja necessariamente o movimento macroscópico dessas partículas. No entanto, é importante mencionar que a condução térmica pode ser afetada por outros fatores, como a espessura do utensílio de cozimento e a condutividade térmica do próprio alimento. É por essa razão que são mais comuns panelas mais espessas na culinária, principalmente frigideiras para fritar steaks de beff de modo a obter aquele padrão de caramelização externa conhecida como “*reação de Maillard*” (Francisquini *et al.*, 2017, p. 49), que trata-se de uma reação química entre proteínas/aminoácidos e açúcares redutores a altas temperaturas, sendo também a responsável por dar cor, textura e sabor aos steaks.

Essa relação entre a transferência de calor e a espessura do material é dada pela *Lei de Fourier* (Nussenzveig; 2014b; Chaves; Sampaio, 2007). Essa equação descreve a taxa na qual o calor flui através de um material, como a espessura de uma panela durante o cozimento dos alimentos, em função das propriedades desse material e do gradiente de temperatura.

A condução térmica não é o único mecanismo de transferência de calor na panela de pressão. A *convecção térmica* também desempenha um papel significativo durante o cozimento dos alimentos. À medida que o calor é transferido para o alimento através da condução, ocorrem movimentos de convecção dentro da panela, denominados correntes de convecção. O calor faz com que as moléculas de água se expandam, ficando menos densas. Isso faz com que a parte superior da água, a uma menor temperatura e mais densa, desça, ao passo que a parte inferior, a uma maior temperatura e menos densa, suba (Nussenzveig; 2014b; Chaves; Sampaio, 2007). Esse movimento de convecção provoca uma circulação do calor dentro da panela, garantindo que ele se distribua de maneira mais uniforme e eficiente e seja transferido de forma mais homogênea para os alimentos.

Além disso, a irradiação também está presente durante o cozimento dos alimentos na panela de pressão. A *irradiação térmica* é a propagação de energia térmica na forma calor por meio de ondas eletromagnéticas, como a luz infravermelha (Nussenzveig; 2014b; Chaves;

Sampaio, 2007). Quando a panela de pressão é aquecida, ela emite radiação infravermelha, que parte é absorvida pelos alimentos. Essa absorção da radiação pelo alimento contribui para o aquecimento dos alimentos de maneira adicional, especialmente nas camadas superficiais. Além disso, a fonte de calor utilizada nesse processo, que é a chama do fogão, ou da fogueira etc., emite calor para o ambiente por meio da irradiação.

De forma integrada, esses três processos de propagação do calor – condução, convecção e irradiação – atuam para garantir o cozimento adequado dos alimentos na panela de pressão. A condução permite a transferência direta de calor entre a fonte de calor, a panela, a água e o alimento. A convecção promove a circulação do calor dentro da panela, garantindo uma distribuição mais uniforme. A irradiação, por sua vez, contribui para o aquecimento adicional dos alimentos através da absorção da radiação emitida pela panela.

3.8.4 As Transições de Fases Ocorridas Durante o Cozimento dos Alimentos

Sabe-se que a matéria pode se apresentar, basicamente, em um dos três principais estados físicos de agregação molecular (Pietrocola *et al.*, 2013). Ou seja, em nível microscópico, esses estados, ou fases, são caracterizados pela forma de ligação química das moléculas que constituem a substância. Os estados de agregação são: sólido, líquido e gasoso. E sob determinadas condições de temperatura e pressão, a matéria pode transitar entre duas ou mais destas fases.

O estado sólido é o estado de agregação de maior energia de ligação molecular, ao passo que o estado gasoso é o que possui menor energia de ligação molecular. Os sólidos possuem formas bem definidas e apresentam resistência à mobilidade e à deformação. Neste caso, o movimento molecular é apenas local, possibilitando o ordenamento espacial das moléculas em estruturas regulares, caracterizando os sólidos cristalinos (Oliveira, 2005; Pietrocola *et al.*, 2013; Chaves; Sampaio, 2007; Nussenzveig, 2014b).

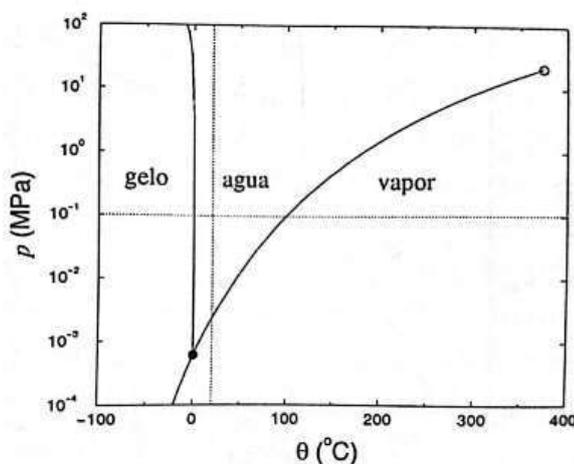
Em contrapartida, nos estados líquido e gasoso os espaçamentos e as mobilidades entre as moléculas são muito maiores do que nos sólidos, sobretudo o estado gasoso. Outro fator crucial é que o estado gasoso é o mais compressível e menos denso dentre os três, enquanto que os estados líquido e sólido são pouco compressíveis (Oliveira, 2005; Pietrocola *et al.*, 2013; Chaves; Sampaio, 2007; Nussenzveig, 2014b). E essas fases termodinâmicas da matéria podem ser representadas num diagrama temperatura-pressão, denominado *diagrama de fases*⁸, em que

⁸ É um gráfico (Figura 39 abaixo e Anexo D) que nos permite compreender em qual estado físico de agregação molecular uma substância se encontra em um dado momento, baseado nos seus valores de pressão e temperatura,

as mesmas são representadas por regiões separadas por curvas (Torres *et al.*, 2016b). Tais curvas representam as fronteiras entre os estados físicos de agregação molecular, tratando-se de um ponto de coexistência entre duas ou mais fases.

O ponto de encontro das três linhas é denominado *ponto triplo* e trata-se do ponto de coexistência das três fases (Oliveira, 2005; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Torres *et al.*, 2016b; Pietrocola *et al.*, 2013). A linha de coexistência líquido-vapor termina sempre num ponto denominado *ponto crítico*⁹, ponto no qual as fases líquidas e gasosas se tornam indistintas (Oliveira, 2005). É importante notar que somente abaixo deste ponto crítico é que a fase gasosa (então denominada de vapor) pode ser liquefeita por elevação da pressão. Acima da temperatura crítica não é possível a liquefação por mais que se aumente a pressão, caracterizando a fase gasosa como “gás” (Braga, 2013). No caso da substância pura “água”, que é a substância que será utilizada na proposta desta pesquisa, o diagrama de fases é dado na Figura 39.

Figura 39 – Diagrama de fase da água pura (H₂O). A linha pontilhada horizontal indica a pressão de 1,00 atm e a linha pontilhada vertical indica a temperatura de 20 °C. O ponto triplo está representado por um círculo cheio e o ponto crítico por um círculo vazio.



Fonte: Oliveira (2005, p. 119).

É evidente na Figura 39 que a água quando submetida à pressão de 1,00 atm (101.325 Pa), a mesma em sua forma sólida (gelo) coexiste com sua forma líquida à temperatura de 0 °C (273,15 K). Mantendo-se a mesma pressão, a água líquida e o vapor d’água coexistem à temperatura de 100 °C (373,15 K). Se fornecer mais energia para a água, por meio de seu

e é dividido basicamente em três regiões separadas por três linhas que convergem em um ponto comum, chamado ponto triplo. Essas linhas correspondem aos momentos de transições de fases (fusão-solidificação, vaporização-condensação, sublimação-ressublimação).

⁹ Indica o maior valor de pressão e temperatura no qual a substância ainda é considerada vapor. A partir desse ponto é impossível definir se uma substância está no estado líquido ou gasoso. Para valores acima desse ponto, a substância passa a ser considerada um “gás”.

aquecimento a partir da temperatura ambiente e mantendo-se a pressão de 1,00 atm, sua temperatura crescerá até o ponto em que começará a ferver. Este ponto corresponde ao valor de 100 °C de temperatura. Todavia, enquanto estiver em ebulição, sua temperatura permanecerá inalterada. A temperatura voltará a aumentar somente quando toda a água evaporar, ou seja, completar sua transição de fase do estado líquido para o estado gasoso, na forma de vapor. Esta transição se chama *vaporização* (Oliveira, 2005).

De forma análoga, se retiramos energia de uma certa quantidade de água, à pressão de 1,00 atm, a partir da temperatura ambiente, sua temperatura irá reduzir até chegar em 0 °C. É neste ponto que a água líquida começa a se congelar. Ou seja, começa a transitar do estado líquido para o estado sólido (gelo). E enquanto perdurar este processo, a temperatura permanecerá inalterada, voltando a diminuir somente quando a transição líquido-sólido (*solidificação*) estiver completa (Oliveira, 2005).

Analisando o gráfico da Figura 39 novamente, pode-se notar que a linha de coexistência da água e seu vapor possui inclinação positiva. Isto significa que sob pressões menores do que 1,00 atm, a ebulição da água ocorre a temperaturas menores que 100 °C. É o que ocorre quando se coloca a água para ferver em localidades de grandes altitudes, onde a pressão atmosférica é menor. Nesta situação, a água passa a ferver a temperaturas inferiores a 100 °C. Quando a pressão passa a ser maior que 1,00 atm, a água passa a ferver a temperaturas mais elevadas, ou seja, maiores que 100 °C. E é exatamente este fato que constitui o princípio de funcionamento das panelas de pressão, objeto que faz parte do núcleo da problematização desta pesquisa (Oliveira, 2005).

No interior da panela de pressão a água líquida muda de fase para vapor d'água. Porém, este vapor, ao entrar em contato com a superfície interna da tampa da panela, que está mais "fria", perde energia e se condensa, ou seja, muda do estado gasoso, na forma de vapor, para o estado líquido. Isto explica a formação e gotículas de água nessa parte da tampa da panela após abri-la.

Dentro da panela de pressão ocorre algumas transições de fases da água líquida para o vapor e vice-versa quando a panela é aquecida até chegar no ponto de transição de fase líquido-gasoso. Em seu interior, a água líquida é aquecida até atingir a temperatura de ebulição, que é a temperatura em que a água começa a se transformar em vapor. A ebulição da água é um processo de mudança de fase em que a água líquida se transforma em vapor, a uma determinada temperatura e pressão.

Quando a água atinge seu ponto de ebulição, as moléculas mais energéticas têm energia cinética suficiente para superar as forças de coesão entre elas e se transformam em vapor. Estas

forças são forças de atração elétrica resultantes das interações eletromagnéticas de curto alcance entre as cargas elétricas das moléculas de água. São conhecidas também como forças de van der Waals. No entanto, na panela de pressão, a pressão interna é maior do que a pressão atmosférica, o que faz com que o ponto de ebulição da água seja elevado, já que é necessário mais energia para superar a pressão adicional.

Durante a transição de fase da água líquida para o vapor, não há aumento na temperatura da água, pois toda a energia térmica fornecida é usada para vencer as forças de coesão entre as moléculas de água.

Com a tampa fechada, a pressão na panela de pressão aumenta e, conseqüentemente, o ponto de ebulição da água também aumenta. Como resultado, a água pode atingir uma temperatura mais elevada antes de começar a ferver, o que leva a uma maior transferência de energia térmica para os alimentos e uma cocção mais rápida. Além disso, a alta pressão na panela de pressão também aumenta a probabilidade de que as moléculas de água colidam umas com as outras, o que pode aumentar a eficiência do processo de cozimento. As moléculas de água têm menos espaço para se mover e, portanto, colidem com mais frequência, o que aumenta a probabilidade de transferência de energia térmica das moléculas de água para os alimentos.

Essa transição de fase é fundamental para o funcionamento da panela de pressão, pois o vapor gerado dentro da panela aumenta a pressão interna, o que permite que a água atinja temperaturas mais elevadas do que na panela aberta, acelerando o processo de cozimento. Além disso, a transição de fase também é responsável pelo apito característico da panela de pressão, que ocorre quando a pressão interna atinge um valor crítico e a válvula de segurança começa a liberar o vapor.

A segunda transição de fase que ocorre no interior da panela de pressão durante o cozimento dos alimentos é a condensação. Quando a água dentro da panela é aquecida e atinge o ponto de ebulição, parte dela se transforma em vapor e se acumula na parte superior da panela, aumentando a pressão interna. No entanto, o vapor também entra em contato com as paredes da panela e com a parte inferior/interna de sua tampa, que estão em temperaturas menores do que a água fervente e dos vapores em seu interior. Isso faz com que haja uma troca de energia térmica na forma de calor entre o vapor, as paredes da panela e a parte interna da tampa, reduzindo a temperatura desses vapores e causando a condensação desse vapor de água, que volta a se tornar líquido e escorre de volta para o conteúdo da panela.

3.8.5 As Transformações de Energia Ocorridas Durante o Cozimento dos Alimentos

As transformações de energia são essenciais para o processo de cozimento em panelas de pressão. A *Primeira Lei da Termodinâmica*, também conhecida como o Princípio da Conservação da Energia, estabelece que a energia total de um sistema isolado permanece constante (Chaves; Sampaio, 2007; Nussenzveig, 2014b; Torres *et al.*, 2016b; Oliveira, 2005; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Pietrocola *et al.*, 2013). No contexto do cozimento dos alimentos na panela de pressão, a Primeira Lei da Termodinâmica está relacionada ao fato de que a energia fornecida ao sistema na forma de calor é convertida para diferentes formas de energia durante o processo de cozimento, dentre elas trabalho termodinâmico, energia sonora, entre outras.

Quando a panela de pressão é aquecida, devido ao contato direto com a chama (fonte térmica), a energia térmica é fornecida na forma de calor à água no seu interior. Essa energia térmica é transferida para os alimentos por meio de mecanismos de condução, convecção e radiação, descritos anteriormente.

À medida que a energia térmica é absorvida pelos alimentos, ocorrem diversos processos, como aumento da temperatura, mudança de fase e reações químicas, que resultam no cozimento dos alimentos. Durante o processo de cozimento dos alimentos, parte da energia térmica é convertida em energia cinética das moléculas dos alimentos, aumentando sua agitação molecular e, conseqüentemente, sua temperatura.

É importante destacar que, de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, a energia total fornecida ao sistema (panela de pressão, água e alimentos) é conservada. Isso significa que a quantidade de energia térmica fornecida ao sistema é igual à quantidade de energia que é utilizada para elevar a temperatura, promover as mudanças de fase e realizar outros processos envolvidos no cozimento dos alimentos.

Portanto, a Primeira Lei da Termodinâmica está relacionada ao cozimento dos alimentos na panela de pressão ao afirmar que a energia térmica fornecida ao sistema é convertida para diferentes formas de energia, permitindo que ocorram os processos de aquecimento, mudanças de fase e outras transformações necessárias para o cozimento dos alimentos.

Quando a panela de pressão é colocada no fogão (fonte de calor), a energia é transferida para a panela na forma de calor a partir do processo da condução térmica visto anteriormente. Essa energia atravessa a estrutura metálica da panela, por meio das colisões dos átomos com o seus adjacentes, e então é transferida para a água, aumentando sua energia térmica e sua temperatura e, eventualmente, transformando a água em vapor após chegar no ponto de

ebulição. Essa energia térmica (energia cinética das moléculas de vapor) é que faz o vapor formado dentro da panela se expandir. Durante a formação do vapor a energia térmica vai aumentando cada vez mais à medida que o fornecimento de calor continua. Essa energia térmica é armazenada no interior da panela devido a formação de pressão de vapor dentro da mesma.

Quando o vapor é gerado dentro da panela de pressão durante o cozimento dos alimentos e a pressão interna aumenta, o vapor acumula uma quantidade significativa de energia térmica. Essa energia térmica faz com que as moléculas de vapor se movam mais rapidamente, aumentando suas energias cinéticas. Isso faz com que o vapor se expanda e empurre a válvula de controle de pressão para cima ao realizar um trabalho mecânico sobre ela (ver diagramação esquemática na Figura 40 abaixo), no qual acaba transferindo parte de sua energia interna para o meio externo (ar) por meio dessa realização de trabalho sobre ele, desobstruindo a saída e permitindo o escape do excesso de vapor e o alívio da pressão interna da panela, garantindo a estabilidade do processo.

Como a válvula reguladora de pressão sofre um deslocamento, r , verticalmente para cima, devido à rápida expansão dos vapores sob alta pressão e temperatura, a mesma fornece ao ar ao seu redor um pouco dessa energia interna desses vapores por meio do trabalho realizado sobre esse meio. Matematicamente, temos que o trabalho termodinâmico realizado sobre o meio a partir da válvula reguladora é (Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998, p. 67; Chaves; Sampaio, 2007, p. 139)

$$W = \int_{V_0}^V p \, dV, \quad (65)$$

em que p é a pressão ao qual os vapores estão submetidos no interior da panela e dV corresponde a um elemento diferencial de volume deslocado. No entanto, se a pressão interna for considerada constante, temos que a integral da Eq. (65) se torna

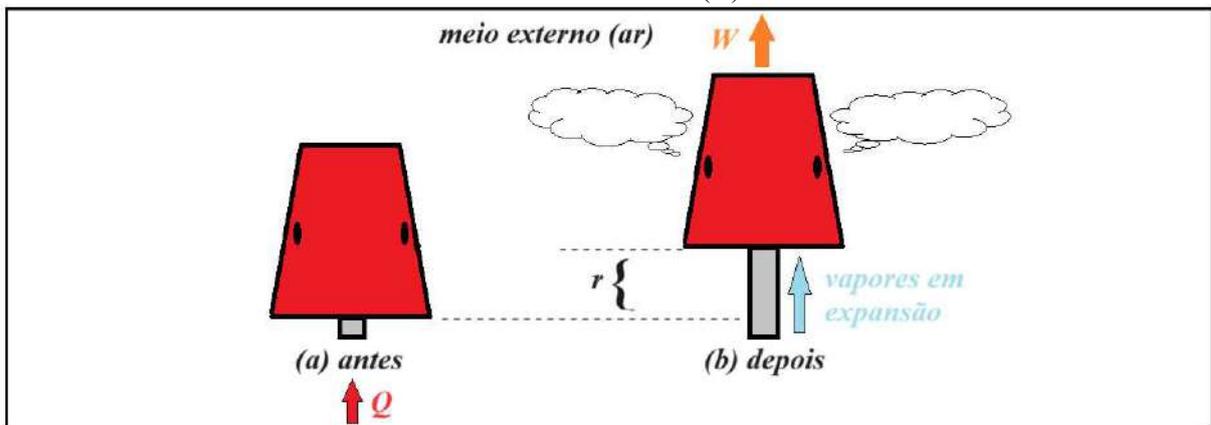
$$W = p \int_{V_0}^V dV, \quad (66)$$

em que os limites de integração, V_0 e V , são os volumes inicial e final ocupado pelos vapores antes e após a expansão, respectivamente. Logo, temos que para esse processo considerado isobárico (Chaves; Sampaio, 2007, p. 141)

$$W = p (V - V_0) = p \Delta V \quad (67)$$

Como a variação de volume, ΔV , é positiva ($\Delta V > 0$), visto que o volume final, V , ocupado pelos vapores é maior que o volume inicial, V_0 , antes da expansão, então o trabalho realizado é positivo ($W > 0$). Ou seja, o sistema fornece energia ao meio por meio do trabalho.

Figura 40 – Transferência de energia na forma de trabalho termodinâmico da válvula de controle de pressão sobre o meio externo (ar).



Fonte: Produzido pelo Autor (2024).

Durante a abertura da válvula reguladora de pressão, ocorre a rápida expansão do vapor excedente para uma região de menor pressão, como o ambiente externo ao redor da panela. À medida que o vapor se move para fora, ele transfere parte de sua energia cinética para o ambiente circundante devido ao atrito com as moléculas de ar no exterior, ocorrendo uma dissipação de energia cinética em energia sonora – que caracteriza o som (apito ou chiado) emitido pela panela quando atinge os níveis de pressão adequados. Esse som emitido é uma manifestação da energia cinética convertida em energia sonora durante o processo de dissipação. À medida que os vapores colidem com o ar e perdem velocidade, parte da energia cinética é transformada em ondas sonoras que se propagam pelo ar, alcançando nossos ouvidos e sendo percebidas como som.

Essa dissipação de energia na forma de som não afeta significativamente o processo de cozimento em si, mas é um indicativo importante para o cozinheiro de que a pressão interna na panela atingiu o nível desejado. Isso ajuda a regular o tempo de cozimento e a garantir que os alimentos sejam preparados corretamente, pois é a partir do início desse chiado característico que se prevê o tempo de cozimento dos alimentos. Além disso, ocorre também a dissipação da energia cinética do vapor em expansão em energia térmica para as moléculas do ar.

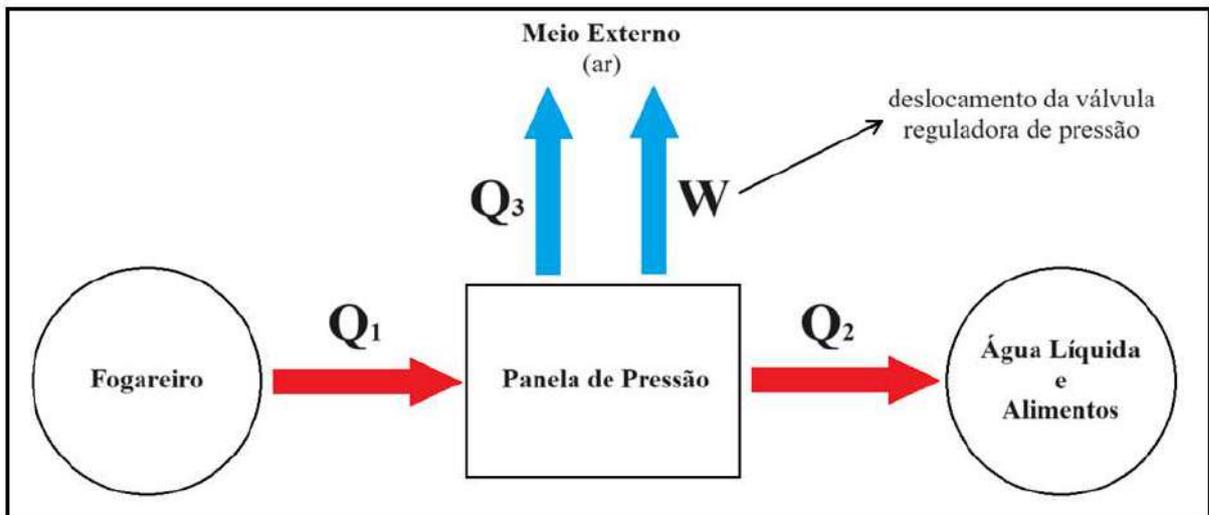
A Figura 41 abaixo ilustra uma diagramação esquemática sobre as energias trocadas entre o meio externo e a panela de pressão, a partir do momento em que a válvula reguladora de pressão começa a funcionar o excesso de vapor escapa por ela. As setas vermelhas representam as energias que são fornecidas pela fonte de calor (fogareiro) ao sistema termodinâmico (panela de pressão) e aos seus subsistemas termodinâmicos (água líquida e alimentos imersos nela). As setas azuis representam as energias que são dissipadas pelo sistema termodinâmico, sendo Q_3 e W as energias trocadas com o ambiente na forma de calor e trabalho termodinâmico, respectivamente. No entanto, W , apesar de ser uma energia dissipada para o ambiente, é uma energia útil para o sistema manter sua pressão e temperaturas estabilizadas, evitando assim o fenômeno indesejável da explosão da panela.

Já Q_1 é a energia total fornecida pelo meio externo (chama do fogareiro) na forma de calor à panela de pressão, que, por condução térmica, transfere a maior parte dessa energia (Q_2) para a água líquida em seu interior, levando ao fenômeno de transição de fase da vaporização (ebulição) da mesma, transferindo energia na forma de calor para os alimentos imersos nela por meio de um processo isotérmico quase-estático (processos que ocorrem com variação de temperatura infinitesimal e muito lentamente), na qual desencadeia as reações químicas (termólise, reação de Maillard etc.) que possibilitam o cozimento dos alimentos crus em contato direto com a água.

Este processo se dá também pelo fenômeno da convecção térmica ocorrido na água devido a movimentação das partes inferior (mais quente) e superior (menos quente) da mesma por conta da diferença de temperatura entre elas causar uma diferença de densidade entre ambas, propagando o calor e transferindo-o para os alimentos por meio das correntes de convecção térmica formadas.

Portanto, tem-se que Q_2 refere-se à quantidade de calor latente de vaporização da água, transformando-a em vapor, ao passo que Q_3 refere-se à quantidade de calor sensível da água, perdida para o ambiente. Daí se tira a fundamentação de que, ao abaixar a intensidade do fogo durante o cozimento dos alimentos, a vaporização se dará mais lentamente, ou seja, demorará mais tempo para a água “secar” vaporizar, ao passo que deixar o fogo alto não irá reduzir o tempo de cozimento dos alimentos, apenas irá acelerar o processo de vaporização da água, visto que durante a transição de fase não há variação de temperatura. Ou seja, o fenômeno da transição de fase é um processo termodinâmico isotérmico.

Figura 41 – Desenho esquemático das trocas de energia entre o sistema termodinâmico e o ambiente.



Fonte: Produzido pelo Autor (2024).

A partir da imagem acima, e aplicando o Princípio da Conservação da Energia (1ª Lei da Termodinâmica), pode-se equacionar a situação geral ilustrada da seguinte forma

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + W \quad (68)$$

Disso nota-se também que a energia fornecida ao sistema não é aproveitada em sua forma integral. E isso é preconizado pela 2ª Lei da Termodinâmica, quando diz que nenhuma máquina térmica, operando em ciclos termodinâmicos, tem a capacidade de converter toda energia recebida em trabalho útil (Nussenzveig, 2014b; Guémez; Fiolhais; Fiolhais, 1998; Torres, 2016b; Chaves; Sampaio, 2007; Feynman, 2008; Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2006; 2015; Oliveira, 2005; Luiz; Gouveia, 2006; Pietrocola *et al.*, 2013; Nunes, 2017). Ou seja, não existe rendimento de 100%.

3.8.6 Fechamento da Panela de Pressão e o Princípio das Alavancas

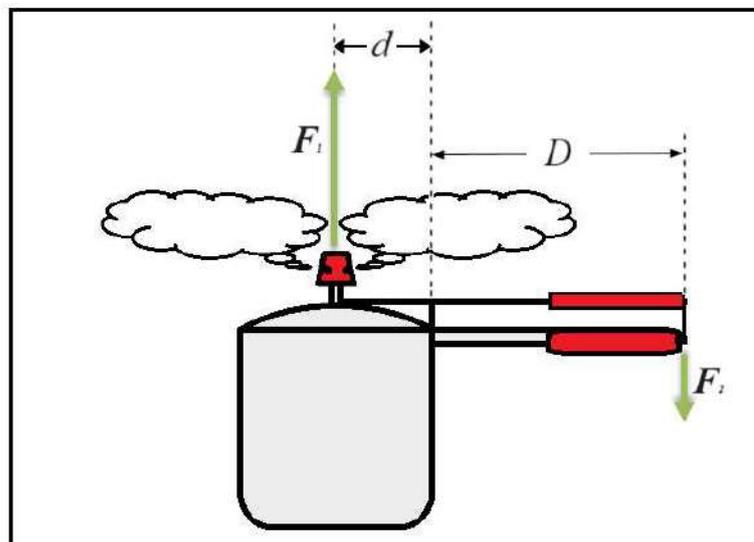
O fechamento adequado da panela de pressão é essencial para garantir a segurança durante o cozimento dos alimentos. Esse processo de fechamento baseia-se em um princípio físico conhecido como o *Princípio das Alavancas*.

O *Princípio das Alavancas*, formulado pelo famoso cientista grego Arquimedes (Nussenzveig, 2014a; Chaves; Sampaio, 2012; Torres *et al.*, 2016a), estabelece que uma alavanca em equilíbrio deve satisfazer a condição de que o produto da força aplicada pelo braço da alavanca próximo ao ponto de apoio seja igual ao produto da força resistente pelo braço da

alavanca distante do ponto de apoio. Em outras palavras, trata-se de uma relação de equilíbrio entre as forças aplicadas e as forças resistivas.

No caso da panela de pressão, o fechamento hermético é alcançado graças ao uso de alavancas, conforme Figura 42. A tampa da panela atua como uma alavanca que amplifica a força aplicada ao ser girada e pressionada sobre o corpo da panela. Essa força é transmitida ao redor da borda da tampa, resultando em uma força F_1 vertical no centro da tampa, apontada para cima, garantindo um fechamento firme e seguro. No caso do cabo da tampa, ele é fixado ao cabo da panela por meio de um dispositivo tracionado. Isso faz com que na extremidade do conjunto dos dois cabos, surja uma força resultante F_2 verticalmente apontada para baixo.

Figura 42 – Desenho esquemático para ilustrar o Princípio das Alavancas na tampa da panela de pressão, durante seu fechamento.



Fonte: Produzido pelo Autor (2024).

Há um ponto de apoio no cabo da panela, que divide o braço de alavanca em duas partes: a primeira, de tamanho menor d , e a segunda, de tamanho maior, D . O Princípio das Alavancas descreve a relação entre a força aplicada, a distância do ponto de aplicação da força ao ponto de apoio da alavanca (braço da alavanca) e o torque (Chaves; Sampaio, 2012; Nussenzeig, 2014a). Portanto, há uma relação direta entre o Princípio das Alavancas e o conceito de torque na Física. O torque é fundamental para entender o funcionamento e a eficiência das alavancas.

O torque (ou momento de força) é uma medida da tendência de uma força em causar rotação de um corpo em torno de um ponto ou eixo fixo (Chaves; Sampaio, 2012; Nussenzeig, 2014a). Ele está relacionado tanto à força aplicada quanto à distância do ponto de aplicação da força ao ponto de rotação (ou eixo). Por outro lado, o Princípio das Alavancas descreve como a aplicação adequada de força e o posicionamento da força e do ponto de apoio em uma alavanca

podem amplificar a força aplicada, permitindo mover objetos mais pesados com menos esforço (Chaves; Sampaio, 2012; Nussenzveig, 2014a). O ponto de apoio, conhecido como fulcro, é o ponto em que a alavanca gira e o torque é nulo (Chaves; Sampaio, 2012; Nussenzveig, 2014a).

Para que uma alavanca esteja em equilíbrio, o momento da força aplicada em um dos lados deve ser igual ao momento da força do outro lado, ou seja, $\tau_1 = \tau_2$ (Chaves; Sampaio, 2012; Nussenzveig, 2014a). Essa condição é expressa pelo Princípio das Alavancas por meio da equação

$$\mathbf{F}_1 \times \mathbf{r}_1 = \mathbf{F}_2 \times \mathbf{r}_2 \quad (69)$$

Considerando apenas os módulos, podemos escrever a Eq. (69) da seguinte forma

$$F_1 d = F_2 D \quad (70)$$

A Eq. (70) mostra como o torque é essencial para o equilíbrio das alavancas. Quando as duas alavancas estão em equilíbrio, os torques em torno do ponto de apoio se cancelam, e não há rotação. Dessa forma, ao aplicar uma força adequada ao fechar a tampa da panela de pressão, aproveitando o Princípio das Alavancas, garante-se um fechamento seguro e hermético.

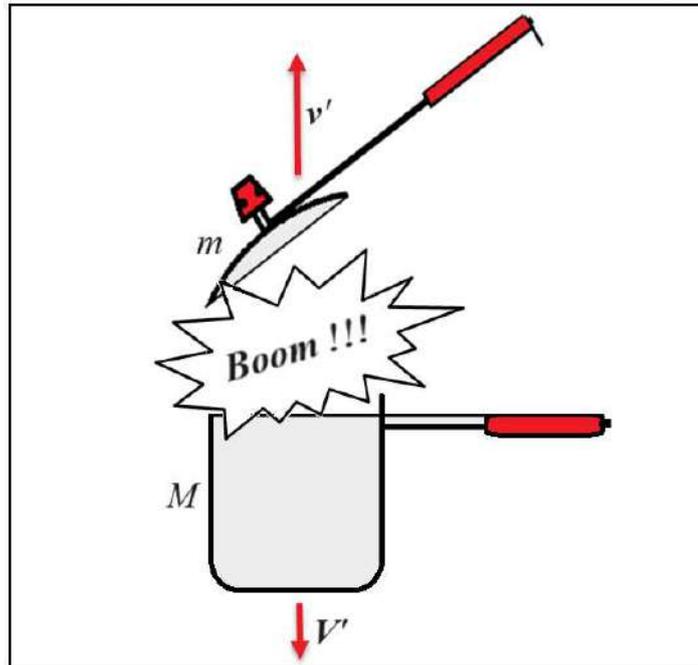
3.8.7 Princípios Físicos que Regem a Explosão da Panela de Pressão

A explosão de uma panela de pressão é um evento que envolve alguns princípios fundamentais da Física. O fato da parte inferior da panela afundar no fogão, deformando-o, e da tampa ser ejetada para cima, são padrões observados em acidentes de explosão das panelas de pressão que servem de exemplos para aplicação dos seguintes princípios:

- Princípio da Inércia;
- Princípio da Ação e Reação;
- Princípio Fundamental da Dinâmica;
- Princípio da Conservação da Energia Mecânica;
- Princípio da Conservação do Momento Linear.

Compreender a Física por trás desse fenômeno é essencial para entender os perigos envolvidos e adotar medidas de segurança adequadas. A Figura 43 contém uma ilustração, feita à mão, do momento de uma explosão de uma panela de pressão.

Figura 43 – Desenho esquemático para ilustrar o momento de explosão da panela de pressão.



Fonte: Produzido pelo Autor (2024).

As panelas de pressão são utensílios domésticos projetados para cozinhar alimentos em altas pressões, permitindo que a temperatura da água seja elevada acima de seu ponto de ebulição normal. A pressão interna é devido ao vapor de água gerado pelo aquecimento do líquido contido na panela. O vapor fica aprisionado na panela devido à presença da tampa hermética e da válvula de controle de pressão, previamente calculada para suportar determinado valor de pressão. Quando a pressão dentro da panela excede a resistência da tampa, e as válvulas de controle de pressão e de segurança não são acionadas por algum motivo, a tampa é empurrada para fora, permitindo que o vapor e o líquido escapem rapidamente, em uma explosão violenta.

Momentos antes de uma explosão, os vapores expandem-se rapidamente, gerando uma força resultante no sentido contrário à parte menos resistente da panela: a tampa. Essa é uma ação que obedece à *Terceira Lei de Newton*, também conhecida como *Princípio da Ação e Reação*. Essa força resultante devido aos vapores em expansão é a ação e a reação a essa força é exercida pela panela e pela tampa, tentando manter o vapor lá dentro da panela. Quando ocorre a explosão, há uma liberação repentina e intensa de energia, pressão e vapores quentes.

Durante a explosão, as duas partes da panela de pressão (tampa e recipiente) se separam e seguem direções opostas com velocidades diferentes, devido à diferença de inércia de cada uma. Isso pode ser facilmente explicado por meio da *Segunda Lei de Newton*, ou Princípio Fundamental da Dinâmica, que descreve a relação entre força resultante, massa e aceleração atuantes sobre um corpo. A força que empurra a tampa para fora da panela é produzida pelo aumento da pressão interna, enquanto a força que empurra o líquido e o vapor para fora da panela é produzida pela reação da tampa sendo empurrada para fora.

A parte inferior da panela (recipiente), que estava em contato direto com o fogão, é empurrada para baixo em direção ao fogão como uma reação à força do vapor em expansão para cima. Isso é resultado da força exercida pela pressão interna da panela, que supera a resistência da estrutura da panela. Por ter uma maior massa, possui uma maior inércia. Isso faz com que ela seja menos acelerada ao longo da vertical e tenha uma menor variação de velocidade, quando comparado com sua contraparte: a tampa.

Ao mesmo tempo, a parte superior da panela, ou seja, a tampa, é ejetada para cima em direção ao teto. Isso ocorre como uma reação à força exercida pelos vapores em rápida expansão para baixo. A liberação repentina de energia devido a essa força faz com que a tampa seja projetada para cima com velocidade significativamente alta, devido sua menor massa e, conseqüentemente, menor inércia, podendo atingir objetos acima dela, como o teto, forro, etc., causando danos materiais. Matematicamente, aplicando a Segunda Lei de Newton para o recipiente e a tampa, temos que

$$F_R = M \frac{dV'}{dt} \quad (71) \quad e \quad F_T = m \frac{dv'}{dt} \quad (72)$$

Como a Terceira Lei de Newton garante que essas forças têm que ser iguais em módulo, pois formam um par ação-reação, para manter a igualdade verdadeira, o recipiente, por ter uma maior inércia (maior massa), deverá ter $dV'/dt < dv'/dt$, ou seja, a sua aceleração deve ser menor que a aceleração da tampa. E isso leva a concluir que aquele com maior aceleração irá adquirir uma maior variação de velocidade, uma vez que ambas as partes estavam com velocidade zero em relação à Terra no momento da explosão.

A Conservação da Quantidade de Movimento Linear também é um princípio fundamental envolvido na explosão da panela de pressão. Antes da explosão, a quantidade total de movimento linear do sistema (panela = tampa + recipiente, vapor e conteúdo alimentício) é

igual a zero, pois a panela está em equilíbrio estático em relação à Terra. No entanto, durante a explosão, ocorre uma mudança brusca na quantidade de movimento linear do sistema.

Durante a explosão da panela de pressão, há conservação do momento linear, desde que não haja forças externas atuando sobre o sistema. De acordo com o Princípio da Conservação do Momento Linear, a quantidade total de momento linear em um sistema fechado permanece constante, a menos que haja forças externas atuando sobre o sistema (Chaves; Sampaio, 2012; Nussenzveig, 2014a; Taylor, 2013; Thornton; Marion, 2011).

Na explosão da panela de pressão, o sistema consiste na panela de pressão, seu conteúdo (líquido, alimento e vapor) e a tampa. Antes da explosão, o momento linear total do sistema é zero, já que a panela está em repouso. Durante a explosão, a tampa é acelerada para fora da panela, aumentando seu momento linear, enquanto o recipiente se move em direção oposta, com o momento linear total do sistema permanecendo zero. Portanto, a conservação do momento linear é mantida durante a explosão da panela de pressão, desde que não haja forças externas atuando sobre o sistema. Matematicamente, e tomando como referência a Figura 43, podemos escrever que

$$\sum p = \sum p' \quad (73)$$

Como o momento linear total antes da explosão é nulo, pois todo o sistema (tampa e recipiente) está em repouso em relação à Terra, e considerando apenas o módulo do momento linear, temos que

$$\sum p' = 0 \quad (74)$$

Como a tampa é ejetada para cima (direção positiva) e o recipiente é ejetado para baixo (direção negativa), utilizamos sinais opostos, temos que

$$m v' + M (-V') = 0$$

Logo

$$m v' = M V' \quad (75)$$

O lado esquerdo da Eq. (75) representa o momento linear da tampa, $m v'$, e o lado direito representa o momento linear do recipiente, $M V'$, após a explosão. Essa equação expressa a conservação do momento linear antes e depois da explosão da panela de pressão, considerando que não há forças externas atuando no sistema e que o sistema é isolado (Nussenzveig, 2014a; Chaves; Sampaio, 2012; Taylor, 2013). Portanto, o momento linear total antes da explosão é igual ao momento linear total após a explosão. Essa é uma forma matemática de descrever a conservação do momento linear, sendo fundamental para entender como a quantidade de movimento é transferida entre a tampa e o recipiente durante o evento de explosão da panela de pressão e compreendendo a situação a partir da relação de proporcionalidade da mesma.

A relação de proporcionalidade nessa equação implica que, se a massa m da tampa for menor, a velocidade de ejeção da tampa v' deve ser maior para que o produto $m v'$ seja igual ao produto $M V'$. Ou seja, $v' \gg V'$. Da mesma forma, se a massa M do recipiente for maior, a velocidade de ejeção do recipiente V' deve ser menor para manter a igualdade na Eq. (75). Essa relação de proporcionalidade revela que a velocidade de ejeção dos objetos durante a explosão da panela de pressão é inversamente proporcional às suas respectivas massas (tampa e recipiente) para que o momento linear total seja conservado. Ou seja, $v' \propto 1/m$ ou $V' \propto 1/M$. Em outras palavras, a tampa, por ser mais leve (menor inércia), será ejetada a uma velocidade maior, enquanto o recipiente, mais pesado (maior inércia), será ejetado a uma velocidade menor.

O *Princípio da Conservação da Energia Mecânica* desempenha um papel importante na explosão da panela de pressão e na ejeção da tampa em uma direção e do recipiente da panela em outra direção oposta. Esse princípio afirma que a energia total de um sistema isolado se mantém constante ao longo do tempo, desde que não haja trocas de energia com o ambiente externo (Chaves; Sampaio, 2012; Nussenzveig, 2014a; Taylor, 2013; Thornton; Marion, 2011).

Antes da explosão, à medida que a panela vai sendo aquecida, a energia térmica que é transferida para ela na forma de calor é transferida para o interior da mesma e convertida em energia (armazenada) nos vapores e líquidos aquecidos. Essas formas de energia são transformadas em outras formas durante a explosão.

Durante a explosão, a energia térmica armazenada no vapor e no líquido é convertida em energia cinética. À medida que a pressão interna da panela aumenta e supera a resistência estrutural da tampa, o vapor e o líquido são liberados com velocidades significativas, adquirindo energia cinética. Essa energia cinética é responsável pela ejeção da tampa em uma direção e do recipiente da panela em outra direção oposta, conforme preconizado pelo Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento Linear e também pela Terceira Lei de Newton.

A energia cinética do vapor e do líquido é convertida a partir da energia térmica originalmente armazenada no conteúdo da panela. Essa transformação ocorre de acordo com o Princípio da Conservação da Energia Mecânica, no qual afirma que a energia total do sistema permanece constante. A energia térmica inicial da panela é transformada em energia cinética do vapor e do líquido em movimento, à medida que a explosão ocorre.

É importante ressaltar que, durante a explosão da panela de pressão, ocorrem algumas formas de dissipação de energia, que também são conversões de energia de uma forma para outra, como o atrito entre a tampa e o recipiente, bem como a dissipação térmica do vapor e do líquido em contato com o ambiente. No entanto, o Princípio da Conservação da Energia Mecânica se mantém válido, desde que essas dissipações sejam desprezíveis em relação à energia total envolvida no sistema.

3.8.8 A Dinâmica do Movimento Rotacional da Válvula de Controle de Pressão

Durante o funcionamento da panela de pressão no preparo dos alimentos é muito comum notarmos a válvula reguladora de pressão girando quando a panela “pega pressão”. Esse movimento rotacional trata-se de um fenômeno físico regido pelas leis da Mecânica Newtoniana aplicadas às situações de rotação de um corpo rígido. Para isso, considera-se o momento de inércia do “corpo rígido” (válvula reguladora de pressão) em relação ao eixo de rotação da mesma, que passa por seu centro ao longo da reta vertical (Nussenzveig, 2014a). O que ocorre nessa situação é que, durante a saída dos vapores pelos orifícios laterais, idênticos e equidistantes da válvula, os mesmos exercem uma força resultante sobre ela que cria um torque resultante não nulo sobre ela, fazendo-a girar em um determinado sentido. Além do torque, o momento angular também é crucial para o entendimento desse movimento.

À medida que a energia térmica, na forma de calor, é transferida da panela para a água, esta vai aumentando sua temperatura até chegar no ponto de ebulição para o local em que está. A partir daí, a água líquida vai se transformando em vapor, que se acumula no interior da panela, aumentando a pressão interna da mesma. Com isso, o ponto de ebulição também aumenta, e a água vai começar a transitar de fase em uma temperatura cada vez maior. Logo, quando a pressão interna atinge o valor pré-determinado pelo peso da válvula de controle, os vapores conseguem ter energia suficiente para expandir e realizar trabalho ao deslocar a válvula para cima e desobstruir a saída no pino central da tampa da panela, permitindo suas saídas pelos orifícios laterais da válvula de modo a evitar que a pressão interna atinja níveis perigosos,

evitando acidentes domésticos e cozinhando os alimentos mais rápido, visto que agora a água líquida está fervendo a uma temperatura maior (Nunes, 2017; Silveira, 2010; 2020).

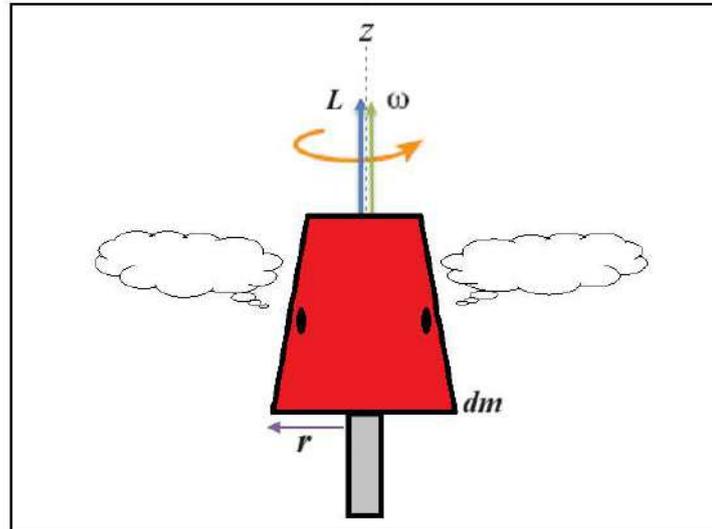
Durante esse processo de “escape” dos vapores excedentes, os mesmos exercem forças opostas que, por não terem módulos iguais, criam forças que empurram a válvula em direções opostas ao sentido das saídas desses vapores, criando uma força resultante sobre esse corpo rígido (válvula) que implica no surgimento de um torque resultante não nulo sobre o mesmo, “quebrando” o estado de inércia rotacional do mesmo, fazendo-o entrar em rotação, alterando seu momento angular de zero para não nulo. É isso que faz a válvula entrar em rotação. Nesse momento há uma aceleração angular atuando sobre o corpo rígido, fazendo-o variar sua velocidade angular. Essa situação descrita é análoga ao que ocorre nos sistemas de irrigação giratórios de gramados ou jardins, por exemplo, em que o torque resultante gerado pela liberação rápida da água faz o sistema girar ao vencer sua inércia rotacional. Entretanto, como esse contexto específico se trata de um sistema real e não ideal, isso significa que há torques externos envolvidos nesse processo e que não são compensados por outras forças internas ao sistema (Nussenzweig, 2014a). Portanto, isso acarreta na não conservação do momento angular.

Porém, assumindo que a válvula reguladora gire com uma velocidade angular aproximadamente constante (Figura 44), podemos admitir que o momento angular total se conserva nessa situação idealizada. Isso ocorre porque como os furos de saída ao longo da lateral da válvula são idênticos e equidistantes, e sem que nenhum deles tenha qualquer nível de obstrução, os vapores excedentes são expelidos de forma regulares simultaneamente por esses furos.

Isso significa que as pressões exercidas por eles sobre essa válvula são iguais em todas as direções de saída, implicando num movimento aproximadamente circular e uniforme da válvula. E no movimento rotacional com velocidade angular constante, não há torques resultantes que criam acelerações angulares que alteram a velocidade angular associada à rotação do corpo em questão. Com isso, o momento angular se conserva nessa situação idealizada de movimento rotacional estável, visto que não haveria torques externos significativos ($\sum \tau_{ext.} = \mathbf{0}$) atuando sobre a válvula (Chaves; Sampaio, 2012; Nussenzweig, 2013a). Além disso, deve-se desprezar os atritos devido às fricções da válvula com o pino ao qual se apoia, ou outras forças que influenciem sua rotação.

A Figura 44 ilustra os vetores momento angular e velocidade angular, *colineares*¹⁰ e apontando para cima, visto que o movimento rotacional da válvula reguladora está no sentido anti-horário. O vetor torque também está alinhado com esses dois vetores.

Figura 44 – Desenho esquemático do movimento rotacional da válvula reguladora de pressão.



Fonte: Produzido pelo Autor (2024).

Ao considerar o momento angular dos vapores em expansão durante a saída pela válvula reguladora, estamos reconhecendo que eles exercem uma força resultante não nula sobre a válvula reguladora da panela de pressão ao escaparem para fora. Isso ocorre devido à Terceira Lei de Newton (Princípio da Ação e Reação), que afirma que para toda ação de uma força sempre há uma reação de igual magnitude e mesma direção de aplicação, mas de sentidos opostos.

Esses vapores ao saírem pela válvula carregam consigo um momento angular oriundo de suas massas, velocidades tangenciais e raios em que estão sendo expelidos para fora. Ao saírem pela válvula, os vapores geram sobre ela forças resultantes opostas aos seus movimentos de saída, empurrando a válvula no sentido opostos e influenciando o momento angular total do sistema (válvula + vapores).

Satisfeita todas essas condições supracitadas, pode-se assumir que o momento angular total do corpo rígido em questão (válvula reguladora) é conservado! No entanto, sistemas ideais não refletem o mundo real. Logo, sistemas como esse que não estão livres de influências externas estarão sujeitos a vários torques externos que podem fazer que o momento angular não se conserve.

¹⁰ Quer dizer que esses vetores possuem exatamente a mesma direção (Thornton; Marion, 2011) 20, que neste caso, é a direção vertical.

Dito isso, e fazendo todas essas considerações para que tenhamos um sistema ideal para análise, tem-se que a conservação do momento angular total da válvula em rotação pode ser expressa matematicamente por meio da seguinte equação

$$\sum L_F = \sum L_0 \quad (76)$$

Como o momento angular inicial total é nulo, pois nem a válvula e nem o vapor que sai por cada um dos quatro orifícios da válvula estão girando, implicando em uma velocidade angular nula, temos que

$$\sum L_F = \mathbf{0} \quad (77)$$

Logo

$$L_{Vál} + L_{Vap} = \mathbf{0} \quad (78)$$

Portanto, em módulo

$$L_{Vál} = -L_{Vap}. \quad (79)$$

Pegando a Eq. (37) em módulo e substituindo na Eq. (79) acima, temos que

$$I_{Vál} \cdot \omega_{Vál} = -I_{Vap} \cdot \omega_{Vap}. \quad (80)$$

Essa Eq. (80) reflete o Princípio da Conservação do Momento Angular da válvula reguladora de pressão e mostra como o processo de liberação controlado dos vapores excedentes afeta o momento angular da mesma, fazendo-a parar de girar gradativamente à medida que a pressão no interior da panela diminui após o fornecimento de calor cessar (desligar o fogão ou retirar a panela do fogo). Esse é o mecanismo pelo qual a pressão interna é regulada e mantida dentro dos limites seguros durante o uso da panela de pressão.

O momento de inércia para a válvula reguladora de pressão pode ser determinado a partir da integral fechada (Chaves; Sampaio, 2012, p. 227; Ersching, 2020, online), ou Eq. (38).

$$I = \oint r^2 dm, \quad (81)$$

em que massa diferencial dm pode ser expressa como (Ersching, 2020, online)

$$dm = \rho dV \quad (82)$$

Substituindo a Eq. (82) na Eq. (81), temos que

$$I = \int r^2 \rho dV \quad (83)$$

Considerando a distribuição contínua e uniforme de massa na válvula reguladora de pressão, temos que a Eq. (83) se torna

$$I = \rho \int r^2 dV \quad (84)$$

Substituindo a Eq. (25) na Eq. (84), temos que

$$I = \frac{m}{V} \int r^2 dV \quad (85)$$

Considerando a área infinitesimal, dA , de um anel concêntrico de uma secção reta transversal da válvula (Figura 45), em que seu comprimento é $2\pi r$, sua largura é dr e sua altura é dz , temos que “ $dV = dA dz = 2\pi r dr dz$ ” (Ersching, 2020, online), a integral da Eq. (85) se torna uma integral dupla, por apresentar duas variáveis. Logo

$$I = \frac{m}{V} \int \int r^2 2\pi r dr dz \quad (86)$$

Reorganizando os termos constantes da Eq. (86) para fora da integral e determinando os limites de integração para cada variável de integração, r e z , a partir de uma semelhança de trapézios (Figura 45 a seguir), temos que

$$I = \frac{2 \pi m}{V} \int_0^h \int_r^{\frac{Rz}{h}} r^3 dr dz \quad (87)$$

Integrando em r na Eq. (87), temos

$$I = \frac{2 \pi m}{4 V} \int_0^h [r^4]_r^{\frac{Rz}{h}} dz \quad (88)$$

Logo

$$I = \frac{\pi m}{2 V} \int_0^h \left(\frac{R^4 z^4}{h^4} - r^4 \right) dz \quad (89)$$

Integrando em z na Eq. (89), temos

$$I = \frac{\pi m}{2 V} \left(\frac{R^4}{h^4} \int_0^h z^4 dz - r^4 \int_0^h dz \right) \quad (90)$$

Resolvendo as integrais da Eq. (90) e fazendo as manipulações algébricas necessárias, temos que

$$I = \frac{\pi m (R^4 - 5 r^4) h}{10 V} \quad (91)$$

Como o volume do tronco de um cone circular é dado por (Giovanni; Bonjorno; Giovanni Júnior, 2002, p. 436; Nápoles, 2018, 4; Dolce; Pompeo, 2009, p. 284)

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + R r) \quad (92)$$

Logo, temos que de Eq. (92) em Eq. (91)

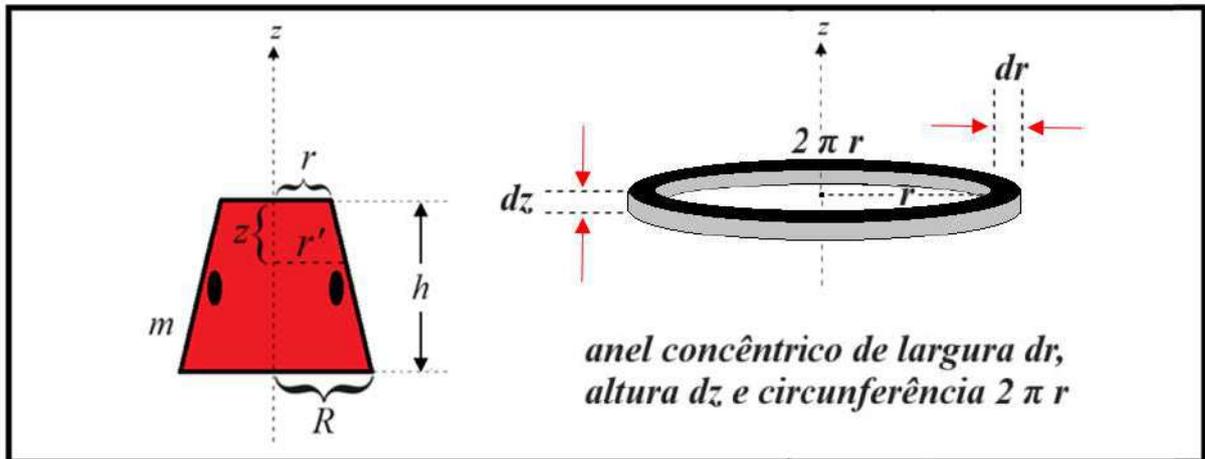
$$I = \frac{\pi m (R^4 - 5 r^4) h}{10 \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + R r)} \quad (93)$$

Portanto, simplificando Eq. (93), segue que

$$I_{\text{vál.}} = \frac{3 m (R^4 - 5 r^4)}{10 (R^2 + r^2 + R r)} \quad (94)$$

A Eq. (94) é a expressão matemática que permite calcular o momento de inércia de um tronco de cone sólido de base circular, ao qual se aproxima muito do formato geométrico da válvula reguladora de pressão da panela de pressão convencional. Logo, a grosso modo, essa equação permite ter uma boa aproximação do momento de inércia da válvula reguladora, apesar dela não ser maciça. As variáveis m , r e R são relativamente fáceis de se medir com uma balança de precisão para a massa e um paquímetro ou régua milimetrada para os raios (Figura 45).

Figura 45 – Desenho esquemático para cálculo do momento de inércia da válvula reguladora de pressão.



Fonte: Produzido pelo Autor (2024).

3.8.9 Estimativa da Pressão no Interior da Panela de Pressão

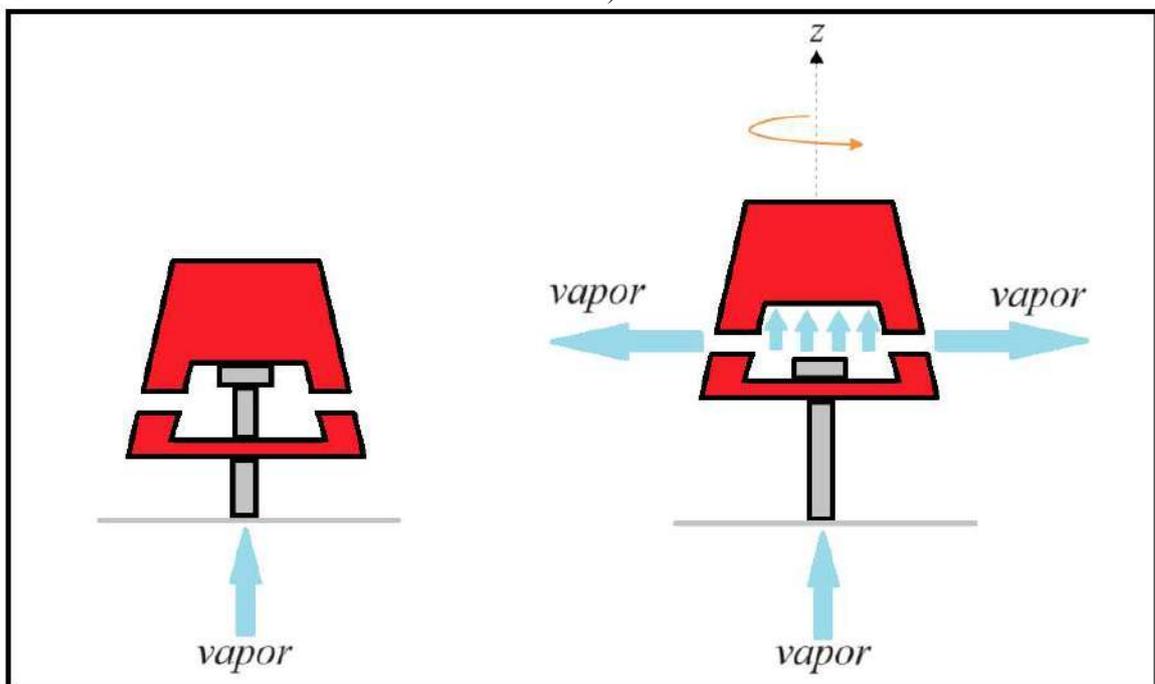
Durante o processo de cozimento dos alimentos em uma panela de pressão, um fenômeno interessante ocorre em um determinado momento: a válvula de controle de pressão é levantada devido à ação do vapor gerado no interior da panela devido ao constante fornecimento calor. Conforme o calor fornecido pelo fogão transforma a água no interior da panela em vapor, a pressão interna dentro da panela aumenta gradualmente (Nunes, 2017).

Esse vapor sob alta pressão busca uma saída, até que encontra um orifício no centro da tampa, que dá acesso, por meio de um pino oco, ao interior oco da válvula de controle de pressão. Ao passar por esse pino, o vapor encontra a saída obstruída pelo peso da válvula que está apoiada sobre ela. Com isso, o vapor exerce uma força na válvula, tentando empurrá-la para cima e desobstruir a saída (Nunes, 2017; Silveira, 2010; 2020).

Isso perdura até que, em determinado momento, a pressão interna dentro da panela se torna suficiente para superar a pressão total exercida pelo peso da válvula e pela atmosfera ao seu redor, erguendo-a acima do orifício de saída do pino. A partir daí, a válvula se estabiliza e o vapor excedente é liberado de forma controlada, regulando a pressão interna da panela para um nível seguro e adequado ao cozimento dos alimentos (Nunes, 2017; Silveira, 2010; 2020).

A Figura 46 ilustra, por meio de dois desenhos esquemáticos, o momento de iminência da igualação entre a pressão interna da panela e externa (pressão atmosférica mais pressão exercida pelo peso da válvula reguladora de pressão) (imagem à esquerda), e também o momento em que a pressão interna vence a pressão externa, erguendo a válvula e permitindo o escape dos vapores em excesso para o meio externo (imagem à direita).

Figura 46 – Válvula obstruindo a saída do vapor (à esquerda). Válvula aberta, permitindo a saída do vapor (à direita).



Fonte: Produzido pelo Autor (2024).

Para estimar a pressão dentro da panela de pressão quando a válvula reguladora de pressão está na iminência de ser erguida, ou seja, quando a pressão interna é igual a pressão

total exercida pelo vapor na válvula e pela atmosfera ao seu redor, podemos utilizar uma equação que equilibra as forças envolvidas (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2006, p. 64; Barreto, 2009, p. 14)

$$p_{int} = p_{atm} + p_{vap} \quad (95)$$

Como a força resultante gerada pela pressão de vapor sobre a válvula é igual a força peso da válvula, atuando sobre a área, A , na válvula equivalente a área de saída do orifício circular do pino, temos que (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2006, p. 64; Barreto, 2009, p. 14)

$$p_{vap} = \frac{m g}{\pi r^2} \quad (96)$$

Portanto, de Eq. (96) em Eq. (95), a expressão matemática final é

$$p_{int} = p_{atm} + \frac{m g}{\pi r^2} \quad (97)$$

Considere as seguintes variáveis:

- m : massa da válvula reguladora de pressão (kg);
- r : raio interno do orifício de saída do vapor no pino (m);
- g : aceleração da gravidade local (aproximadamente $9,81 \text{ m s}^{-2}$);
- p_{int} : pressão dentro da panela (N m^{-2});
- p_{atm} : pressão atmosférica local (N m^{-2});
- p_{vap} : pressão do vapor de água (N m^{-2}).

A Eq. (97) permite estimar a pressão do vapor dentro da panela de pressão quando a válvula reguladora de pressão é erguida devido a rápida expansão do vapor. Neste caso, considerando a massa da válvula, o diâmetro interno do orifício de saída no pino e a pressão atmosférica sobre essa área. É importante notar que essa é uma simplificação do problema e outros fatores, como a temperatura do vapor e as características da panela de pressão, também

podem influenciar a pressão do vapor. Portanto, para uma análise mais precisa, podem ser necessárias considerações adicionais.

3.9 O USO DA PANELA DE PRESSÃO: BENEFÍCIOS, RISCOS E CUIDADOS

O corpo das panelas de pressão moderna mais popular é geralmente feito de metal resistente, como aço inoxidável ou alumínio, e possui uma tampa que se encaixa de forma hermética ao redor da borda superior da panela (Figura 47). E ao redor dessa tampa existe uma borracha projetada para criar uma vedação hermética entre a tampa e a borda da panela. Ela é feita de um material flexível e resistente ao calor, como silicone ou borracha de alta temperatura, e é projetada para suportar a pressão e o calor gerados durante o cozimento. Essa borracha é presa na tampa por meio de uma ranhura ou um encaixe, que impede que ela saia do lugar durante o uso.

É importante lembrar que a borracha na tampa da panela de pressão precisa ser substituída periodicamente, pois com o tempo e o uso ela pode perder sua elasticidade e capacidade de vedação. Recomenda-se trocar a borracha a cada seis meses ou sempre que ela apresentar sinais de desgaste ou danos visíveis (Assessoria de Comunicação do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará, 2021; Babini, 2021b; Silva; Silva, 2018; Nunes, 2017; Martins, 2013).

A tampa é equipada com duas válvulas: uma de controle de pressão (orifício contendo um pino com um contrapeso em cima) e outra de segurança (Figura 47).

Figura 47 – Panela de pressão comum moderna em alumínio e indicação de suas partes.



Fonte: Martins (2013, online).

A válvula de controle de pressão encontra-se posicionada ao centro da tampa da panela de pressão e é projetada para manter a pressão dentro da panela em um nível constante e seguro.

Quando a pressão dentro da panela atinge o limite máximo, a válvula se abre para permitir que o excesso de vapor escape e a pressão interna diminua. Quando a pressão diminui abaixo do limite mínimo, a válvula se fecha novamente para manter a pressão constante. Portanto, a movimentação da válvula é um processo cíclico que ocorre repetidamente durante o cozimento na panela de pressão (Assessoria de Comunicação do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará, 2021; Babini, 2021b; Rodrigues; Possamai, 2019; Martins, 2013).

À medida que a pressão varia dentro da panela, a válvula de controle de pressão se movimenta para permitir que o vapor escape ou para fechar a passagem do vapor, mantendo a pressão segura e constante. Já a válvula de segurança é composta por um disco de metal com uma mola e fica posicionada mais afastada do centro e serve para liberar o excesso de pressão caso a válvula principal não funcione (trave ou esteja entupida) após a pressão interna exceder a pressão externa. Caso isso ocorra, essa válvula de segurança é aberta, possibilitando a saída do vapor da panela e evitando que a panela exploda (Assessoria de Comunicação do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará, 2021; Babini, 2021b; Nunes, 2017; Martins, 2013).

Os alimentos, quando cozidos neste tipo de equipamento, recebem mais energia térmica na forma de calor devido ao aumento da pressão em seu interior que favorece o aumento da temperatura de ebulição da água. Para uma panela de pressão cozinhando alimentos ao nível do mar, por exemplo, a temperatura de ebulição da água em seu interior passa a ser aproximadamente 120 °C (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2006; 2015; Rodrigues; Possamai, 2019; Migliavacca; Witte, 2014; Nunes, 2017; Martins, 2013).

O cozimento sob pressão dos alimentos é uma técnica comumente utilizada por todos, pois acarreta em alguns benefícios, como a redução do tempo de cozimento dos alimentos em relação às panelas comuns. Isso tornou a panela de pressão um utensílio doméstico bastante essencial nas cozinhas residenciais, de hospitais, restaurantes, hotéis etc.

Outro ponto relevante a ser considerado quanto ao uso da panela de pressão é que, pelo fato de que uma maior pressão interna gerar uma maior temperatura de ebulição da água em seu interior, faz com que o fluxo de energia na forma de calor para os alimentos aumente. Isso faz com que organismos patogênicos consigam ser eliminados de forma mais eficaz, em relação às panelas comuns. Além do mais, há também o fator econômico, uma vez que o uso desse utensílio reduz o consumo de gás de cozinha (Academic Accelerator, s.d.).

Um terceiro ponto relevante a se considerar acerca da panela de pressão, é que a mesma pode ser utilizada como uma espécie de autoclave para a esterilização de utensílios domésticos como potes de geleias, mamadeiras de vidro, cortadores de unhas etc. Muitos hospitais, clínicas médicas e odontológicas, e estabelecimentos de exames laboratoriais e análises clínicas

utilizam a autoclave – que é uma espécie de panela de pressão muito mais resistente e que gera maiores pressões e temperaturas internas – para a esterilização de instrumentos cirúrgicos (Silva; Silva, 2018; Academic Accelerator, s.d.).

A panela de pressão também pode ser usada para se esterilizar de forma mais eficaz a água obtida em fontes naturais em acampamentos, devido a temperatura de ebulição da água em seu interior superar à temperatura de ebulição ambiente da água. No entanto, se não receber suas devidas manutenções preventivas periodicamente e/ou não for utilizada de forma consciente por seu usuário, a panela de pressão pode se apresentar como um utensílio doméstico com potencial risco de acidente doméstico, o que pode acarretar em sérios danos materiais e/ou à saúde humana. Esses acidentes podem até mesmo levar uma pessoa à morte. Portanto, ter conhecimentos de tais riscos e das medidas preventivas quanto ao manuseio consciente da panela de pressão é essencial para evitar acidentes domésticos com esse utensílio doméstico (Silva; Silva, 2018; Academic Accelerator, s.d.).

O risco mais eminente e conhecido é o da explosão da panela de pressão. Isso ocorre a partir do momento que as válvulas de controle de pressão e de segurança deixam de funcionar simultaneamente. A pressão interna, portanto, passa a aumentar cada vez mais, até que a estrutura física da panela de pressão não suporte e se rompa em seu ponto mais frágil, que normalmente é a junção entre o corpo da panela e sua tampa. E para que isso ocorra, a válvula de controle de pressão deve estar entupida com sujidades, que podem ser resquícios de alimentos que foram se acumulando em seu interior à medida que a panela foi sendo usada e, por não receber manutenção preventiva (limpeza de seus orifícios) após os usos, o vapor excedente acumulando-se em seu interior não consegue sair da panela por meio dessa válvula e aliviar a pressão interna da panela, quando a válvula de segurança não é acionada após essa pressão chegar a um nível crítico pré-estabelecido pelo fabricante da panela. Logo, é extremamente importante seguir as orientações de segurança do fabricante da panela de pressão quanto ao uso (Silva; Silva, 2018; Assessoria de Comunicação do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará, 2021; Academic Accelerator, s.d.).

Dito isso, o Quadro 4 contém algumas precauções importantíssimas a serem seguidas antes, durante e após manusear a panela de pressão no preparo dos alimentos (Babini, 2021b; Assessoria de Comunicação do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará, 2021; Academic Accelerator, s.d.; Nunes, 2017):

Quadro 4 – Orientações de segurança quanto ao manuseio da panela de pressão.

Orientação	Descrição
Sempre ler o manual de instruções	Sempre busque as informações estabelecidas pelo fabricante em seu manual de instruções, visto que cada modelo de panela pode ter recomendações específicas devido suas particularidades.
Nunca utilizar panelas danificadas	Sempre verifique se não existem danos visíveis na panela de pressão, como amassados, trincas, furos etc., visto que uma panela com avarias pode ser mais propensa a acidentes. E se encontrar algum problema, descarte-a ou não a utilize.
Nunca exceder a capacidade volumétrica máxima da panela	Jamais encha a panela com água até próximo à sua borda, pois isso pode levar ao entupimento da válvula de controle de pressão por conta de resíduos alimentares obstruindo os orifícios de saída da mesma. Comumente o nível adequado adotado para cada panela corresponde ao limite de 2/3 de sua capacidade total .
Posicionamento correto da tampa	O fechamento dos modelos mais comuns de panela de pressão se dá pelo encaixe de dentro para fora de sua tampa. Sempre se certifique de que a mesma está bem posicionada, vedada e travada. Verifique se a borracha de vedação está sem trincas e ressecamentos, pois se tiver, não irá vedar bem a panela e deve ser substituída. Além disso, a válvula reguladora de pressão deve estar livre para movimentação.
Limpeza periódica da válvula reguladora de pressão	Após e antes do uso da panela de pressão, retire a válvula reguladora de pressão da tampa da panela de pressão e certifique-se de que a válvula reguladora de pressão está limpa e desobstruída de resíduos alimentares. Se estiver com sujidades que possam obstruir a passagem do excesso de vapor, utilize um pedaço de arame ou dispositivo adequado para limpar os furos externos e interno da válvula.
Deixar a panela de pressão esfriar naturalmente antes de abri-la	Jamais leve a panela à pia para forçar um resfriamento da mesma, molhando-a sob a torneira, pois isso pode ocasionar choques térmicos que podem resultar em microfaturas na estrutura da panela, deixando-a frágil e susceptível ao rompimento da mesma durante seu uso. Além disso, esse ato danifica a borracha de vedação da tampa, que pode ocasionar escape irregular de vapor, fazendo com que a panela não “pegue” a pressão adequada. Isso pode forçar ao seu usuário utilizar talheres para forçar ainda mais seu fechamento. O correto é que, após o cozimento dos alimentos, desligue o fogo e deixa a panela naturalmente estabilizando a pressão em seu interior. Só após isso que se deve abrir sua tampa.
Manusear a panela de pressão com cautela	Após a pressão interna da panela se estabilizar com a externa (momento posterior em que a válvula para de “chiar”), abra-a com cuidado para que os vapores quentes liberados ao abri-la não causem queimaduras.
Nunca substitua a válvula reguladora por outra que não seja original	Jamais, em hipótese alguma, substitua a válvula reguladora de pressão da panela por uma que não seja a original do fabricante e específica para o modelo de panela em uso, pois muitos acidentes ocorrem por conta das pessoas comprarem em camelôs esse tipo de peça, mais pesadas do que a original do fabricante, com o intuito de tornar a pressão interna mais elevada e reduzindo o tempo de cozimento dos alimentos ainda mais. A panela foi projetada pelo fabricante para suportar a pressão adicional gerada por sua válvula original. Por isso, se utilizar uma válvula mais pesada, isso potencializará os riscos de explosão e danos, já que a panela não irá suportar essa pressão mais elevada.

Fonte: Produzido pelo autor a partir de Babini (2021b), Assessoria do Corpo de Bombeiros Militares do Estado do Ceará (2021), Academic Accelerator (s.d.) e Nunes (2017).

A segurança em se utilizar esses utensílios domésticos potencialmente perigosos, como a panela de pressão, deve ser uma prioridade tida por todos os seus usuários. Por isso, ao se conscientizar desses riscos e cuidados a serem adotados durante o manuseio da panela de pressão, seu uso passa a ter os riscos de acidentes minimizados. Contudo, apesar do aumento

de acidentes domésticos envolvendo a panela de pressão terem aumentando com os anos, seu uso é considerado seguro quando as pessoas se apropriam de todas as medidas preventivas necessárias recomendadas pelo fabricante em seu manual de instruções (Babini, 2021b; Assessoria de Comunicação do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará, 2021; Academic Accelerator, s.d.; Nunes, 2017).

CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA

4.1 A NATUREZA DO CONHECIMENTO ENVOLVIDO NA PROPOSTA DA PESQUISA: PERSPECTIVAS FILOSÓFICA E EPISTEMOLÓGICA

A natureza do conhecimento envolvido na proposta da presente pesquisa é subsidiada por alguns conceitos-chave da epistemologia bachelardiana e de seu alinhamento com a perspectiva filosófica freiriana da Educação. Suas ideias sugerem um posicionamento construtivista e não um negativista.

Em seus dois trabalhos mais proeminentes, intitulados "A Formação do Espírito Científico" e "A Filosofia do Não", publicados originalmente em 1938 e 1940, respectivamente, o físico e filósofo francês Gaston Bachelard (1884 – 1962) apresenta uma análise crítica a respeito da epistemologia da construção do conhecimento científico, visto que ele não acreditava na epistemologia convencional por esta não considerar o dinamismo e a complexidade do processo de construção do conhecimento científico. Portanto, sua epistemologia busca evidenciar a relevância das experiências e práticas experimentais na formação do pensamento científico.

Nessas duas importantes obras supracitadas, Bachelard (1991; 1996) trata das barreiras conceituais, as quais ele cunhou como "*Obstáculos Epistemológicos*", que surgem durante o processo inicial de construção do conhecimento científico, e que devem ser derrubadas para a consolidação do mesmo de forma eficaz, por meio do que ele chamou de processo de "*Ruptura Epistemológica*", no qual afirma que o saber científico só pode ser construído a partir da destruição das concepções prévias não científicas. Esses são dois aspectos-chave importantes e que são considerados na presente pesquisa. O Quadro 5 contém as descrições desses dois aspectos-chave.

Quadro 5 – Conceitos ou aspectos-chave da epistemologia de Gaston Bachelard.

Aspecto-Chave	Descrição
<i>Obstáculos Epistemológicos</i>	São concepções intuitivas fortemente enraizadas na cultura popular que podem estabelecer dificuldades no processo de construção do conhecimento científico. Portanto, representam barreiras conceituais que devem ser derrubadas para que o processo educativo ocorra de forma mais fluida e eficaz.
<i>Ruptura Epistemológica</i>	É a ideia de se abandonar as ideias prévias e intuitivas para que o processo de construção do conhecimento seja mais eficaz. Ou seja, é a concepção de ruptura dos "obstáculos epistemológicos" em prol da construção de um conhecimento mais consistente e preciso. No

	contexto do Ensino de Física, por exemplo, os educandos tendem a se esbarrar em vários obstáculos epistemológicos como, por exemplo, acharem que calor e temperatura são a mesma coisa.
--	---

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

Ou seja, para Bachelard (1991), a “Filosofia do Não” representa o momento em que as novas experiências negam às experiências antigas, no intento de limpar a mente para uma nova aprendizagem, um novo conhecimento a ser construído de forma científica. No entanto, esse momento de “*Ruptura Epistemológica*” com os “obstáculos epistemológicos” que surge no processo inicial de construção do conhecimento científico não se limita em negar os conhecimentos prévios, mas sim entender que esses conhecimentos não são necessários para a construção de um conhecimento mais preciso e científico.

Em alguns casos, os conhecimentos prévios podem ter uma validade em algumas situações, mas que não servem para explicar outras situações. É o caso, por exemplo, das Leis de Newton, que é um conhecimento científico preciso e valioso que por mais de 400 anos serviu para explicar perfeitamente muitos fenômenos físicos associados ao movimento, inclusive, desenvolver tecnologias para enviar o Homem à Lua etc. E ela ainda serve nos dias atuais, só que com delimitações de escala (micro e macroscópicas). No entanto, esses mesmos conhecimentos científicos associados à Mecânica Newtoniana não servem para explicar os fenômenos físicos em escalas subatômicas, cósmicas ou de fenômenos em regimes relativísticos.

Nesse caso, as Leis de Newton se comportam como “*Obstáculos Epistemológicos*” (Bachelard, 1996) que deve ser superado por meio de uma “*Ruptura Epistemológica*” (Bachelard, 1991) para que um novo conhecimento científico possa ser construído efetivamente, como foi o caso do surgimento da Teoria Quântica (1900) de Max Planck (1858 – 1947) e da Teoria da Relatividade Especial e Geral (1905/1915) de Albert Einstein (1879 – 1955), que surgiram para explicar os fenômenos físicos em escalas subatômicas e cósmicas sob regimes relativísticos, respectivamente.

Por exemplo, a Lei da Gravitação de Newton preconizava a existência de uma força cuja interação acontecia devido à presença de corpos dotados de massa. Contudo, essa teoria não dizia qual era a causa dessas forças, apenas os objetos que as geravam. Foi a Teoria da Relatividade Geral de Einstein que veio dizer que as causas dessas forças se devem às curvaturas que a presença de objetos massivos causa no tecido do espaço-tempo. Com isso, para que essa hipótese, que foi testada e comprovada alguns anos mais tarde, pudesse existir,

foi necessário que Einstein rompesse com os “*Obstáculos Epistemológicos*” impostos pelas limitações das leis da Mecânica Newtoniana.

Seguindo essa premissa bachelardiana, o mesmo ocorre quando tratamos da Educação, mais precisamente no Ensino de Física. No caso da Termologia, por exemplo, os educandos tendem, em sua maioria, a achar que “calor”, “temperatura” e “energia” são sinônimos. Isso representa um “*Obstáculo Epistemológico*” associado à suas concepções prévias não científicas com base em suas vivências de mundo e que deve ser destruído para que a um novo conhecimento científico seja reestruturado de forma eficiente.

Logo, a perspectiva epistemologia bachelardiana foi crucial no campo da Filosofia da Ciência, ressaltando a evolução do conhecimento científico e a importância das rupturas com os “*Obstáculos Epistemológicos*” (Bachelard, 1996) para uma melhor compreensão do mundo. Com isso, atrelada à perspectiva filosófica de uma “*Educação Dialógico-Problematizadora*” (Freire, 1987; 2020; 2021), a presente pesquisa possibilita aos educandos explorar objetos do uso cotidiano sob o olhar da “*Alfabetização Técnica*” (Bazin, 1977a) de modo a ampliarem as lentes da Física no processo de construção do conhecimento científico para um melhor entendimento das fenomenologias presentes em nossos cotidianos, sobretudo nos aparelhos técnicos “*Equipamentos Geradores*” (Bastos, 1990). Além disso, essas perspectivas possibilitam o desenvolvimento de competências e habilidades essenciais para uma leitura reflexiva e crítica do mundo.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa é caracterizada como qualitativa, exploratória e com foco para a abordagem prática experimental e que segue uma linha semiestruturada¹¹ para os roteiros, questionários e entrevistas (Gil, 2023; Lakatos; Marconi, 2021; 2022a; 2022b; Ludke; André, 1986). Por isso, os resultados da presente pesquisa mostram, além de números expressivos, também as narrativas, ideias e percepções empíricas individuais e coletivas dos educandos com relação às aprendizagens construídas ao longo da SD. No entanto, os aspectos mais considerados serão àqueles associados à subjetividade na interpretação e descrição desses resultados, no maior interesse pelo processo do que pelos resultados esperados propriamente ditos, na compreensão das peculiaridades e pequenas variações ocorridas ao longo do processo

¹¹ Apesar dos questionamentos terem sido estabelecidos previamente, novos questionamentos que surgem ao longo das discussões podem ser incrementados.

educativo (Lakatos; Marconi, 2021; Paschoarelli; Medola; Bonfim, 2015; Sampieri; Collado; Lucio, 2013).

Segundo Creswell e Creswell (2021), esse tipo de abordagem consiste estrategicamente na combinação de elementos das abordagens qualitativas e quantitativas.

Para Lakatos e Marconi (2021) uma *pesquisa qualitativa* é uma abordagem metodológica que se caracteriza por priorizar por analisar e interpretar aspectos mais subjetivos e associados mais aos processos do que aos resultados propriamente dito. Ou seja, é uma abordagem que busca descrever a complexidade dos processos humanos, fornecendo análises valiosas a respeito do detalhamento das investigações realizadas, cujas técnicas de obtenção e a análises de dados são realizadas de forma puramente descritiva e interpretativa com o objetivo de captar a complexidade dos fenômenos estudados, podendo ser realizada por meio de diferentes instrumentos de obtenção de dados, como entrevistas, observações, análises documentais etc.

Em contrapartida, os autores Ludke e André (1986) estabelecem que a *pesquisa quantitativa* como uma busca para mensurar e generalizar os resultados gerados a partir dos dados estatísticos (primários ou secundários) obtidos a partir da amostra de uma população específica, quantificando as respostas dos participantes para validar ou não as hipóteses iniciais da pesquisa. Para os autores, nesse tipo de pesquisa há uma maior precisão e confiabilidade dos resultados devido aos processos de análises estatísticas aos quais os dados da pesquisa são submetidos, descrevendo as causas de um determinado fenômeno e/ou as relações existentes entre eles e suas variáveis. Além disso, essa abordagem se caracteriza por sua clareza e objetividade em seus métodos e resultados, no qual as medições numéricas são mais relevantes para as interpretações dos resultados do que as descrições verbais.

Bonin (2006) e Gil (2023) consideram que a *pesquisa exploratória* é um tipo de pesquisa científica que tem como objetivo explorar um tema, problema ou fenômeno ainda pouco conhecido ou pouco estudado, com o objetivo de obter informações iniciais e aprofundar o conhecimento sobre o assunto. Para os autores, nesse tipo de pesquisa não se busca uma resposta definitiva, mas sim uma compreensão inicial do tema, a fim de orientar pesquisas posteriores mais detalhadas e específicas. A pesquisa exploratória busca obter dados quantitativos e qualitativos. Os autores salientam também a importância de se atentar ao fato de que esse tipo de pesquisa não consiste um fim em si mesma, mas sim um pontapé inicial rumo ao aprofundamento e sistematização na busca do conhecimento sobre um determinado assunto.

unidade da sede após aprovação em concurso público para a carreira do magistério. Era a única disciplina que, até então, nunca tinha tido um professor com formação específica atuando nela.

Figura 49 – Fotos de alguns pontos da sede do CPC.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A imagem superior esquerda é da fachada da escola. A imagem superior direita é do prédio dos laboratórios de Física, Química, Biologia, Matemática, Informática e Hotelaria. A imagem central é do portão externo de entrada da escola. A imagem inferior esquerda mostra a quadra interna, que fica ao lado do pátio de recreação, e também a biblioteca com um amplo espaço e acervo de livros abrangente. A imagem inferior direita mostra a quadra poliesportiva.

A escola oferta algumas modalidades para o EM. São elas: *Educação de Jovens e Adultos (EJA)*, eixos de formação VI e VII, no período noturno; Educação Profissional e Tecnológica, ofertada em tempo integral (manhã e tarde) com duração de 07 (sete) horas diárias, com o curso de Técnico em Administração integrado ao curso de formação geral da BNCC; e o EM regular “NEM”, no período vespertino.

O quadro docente, da sede, é composto por 17 (dezesete) professores. Deste total, 09 (nove) são efetivos e 08 (oito) são contratos temporários adquiridos a partir do Regime Especial de Direito Administrativo (REDA). Dentro deste quadro docente, 13 (treze) professores possuem curso superior em licenciatura e 04 (quatro) possuem formação superior em bacharelado em Administração, ao qual atuam unicamente nos componentes curriculares específicos do curso Técnico em Administração.

A implementação da SD se dará na turma A da 2ª série do EM do tempo integral, ao longo de 04 (quatro) aulas semanais, sendo 02 (duas) referentes ao componente curricular Física e 02 (duas) referentes ao componente curricular Inovação Científica e Tecnológica. Cada aula tem duração de 50 minutos. Os encontros ocorreram às quartas-feiras, no período da manhã, e às quintas-feiras, no período da tarde, tendo início na segunda semana de setembro e término na última semana de novembro. Alguns fatores foram cruciais para a escolha dessa turma. Um dos fatores foi que a turma é bem diversificada no quesito “habilidades”, em que alguns educandos que possuem habilidades de realização de cálculos matemáticos de forma mais fácil, outros possuem habilidades voltadas para a arte gráfica (desenhos) à mão, e outros possuem mais habilidades nas partes mais conceituais. Isso possibilita que cada educando possa contribuir, de acordo suas potencialidades e desenvolvimentos, para as realizações das atividades propostas ao longo da SD. Além disso, é a turma que menos conversa durante as aulas, por ter a grande maioria dos educandos tímidos. E a partir disso, a abordagem dialógica de Freire (1987; 2021) emerge como uma forma de promover e incentivar o diálogo na turma, fazendo com que os educandos quebrem as barreiras da timidez durante as aulas e realização das atividades propostas em sala de aula. O outro motivo foi pelo fato de duas das aulas referidas (período da tarde) serem “germinadas”, o que proporciona um espaço de tempo maior para o desenvolvimento das atividades práticas com o experimento real e com a simulação

computacional. A turma é composta por 33 (trinta e três) educandos regularmente matriculados, aos quais são os sujeitos principais do objetivo desta SD. Dentre o quantitativo de educandos, há uma que se enquadra na situação de infrequente desde a I unidade letiva.

4.4 INSTRUMENTOS DE OBTENÇÃO DE DADOS

Visando uma maior abrangência, uma gama de instrumentos de obtenção de dados foi meticulosamente selecionada e empregada com o propósito de adquirir informações detalhadas e aprofundadas ao longo da aplicação da SD, a fim de investigar e avaliar o processo de ensino e aprendizagem. Os instrumentos escolhidos foram (Lakatos; Marconi, 2021; 2022a; 2022b; Ludke; André, 1986; Creswell; Creswell, 2021), conforme Quadro 6 abaixo.

Quadro 6 – Instrumentos de obtenção de dados da pesquisa qualitativa.

Instrumentos	Descrição
Registros audiovisuais	Permitiram a captura abrangente e precisa das interações entre professor e educandos em vídeo e áudio durante um momento específico da SD, que foi a realização da aula prática experimental com a panela de pressão. Utilizou-se o dispositivo celular para gravar a aula.
Registros fotográficos	Contribuíram para a ilustração dos ambientes de aprendizados, servindo como um complemento e valioso instrumento para a análise. Utilizou-se o dispositivo celular para obter as fotos de todos os momentos da SD.
Questionários impressos	Principal instrumento da análise dos dados qualitativos da pesquisa. Por meio desse instrumento, pôde-se diagnosticar os saberes prévios dos educandos e avaliar o progresso da aprendizagem dos mesmos ao longo de toda a SD. Esses questionários abordaram aspectos como satisfação quando a SD, bem como contribuíram para a avaliação abrangente de sua eficácia no processo de ensino e aprendizagem dos conceitos e fenômenos físicos presentes durante o preparo dos alimentos com a panela de pressão. Esses questionários foram impressos com a equipe diretiva da escola.
Registros em diário de bordo	Observações detalhadas e reflexões durante toda a SD foram anotadas em diário de bordo. Esses registros incluíram informações sobre o comportamento e engajamento dos educandos, as interações e estratégias didático-pedagógicas empregadas. Utilizou-se um caderno de anotações para registrar tais observações e reflexões.
Produção de artefatos	A produção de artefatos como memes, tirinhas, charges e resumos por parte dos educandos proporcionou insights valiosos sobre o processo de ensino e aprendizagem, demonstrando que os conceitos e fenômenos físicos construídos ao longo da SD e associados ao funcionamento da panela de pressão durante o cozimento dos alimentos, foram aplicados em situações reais de leitura e escrita de mundo, revelando o desenvolvimento de competências e habilidades essenciais para a apropriação e entendimento da Física.
Avaliações teóricas impressas	São as avaliações somativas pós-diagnósticas feitas ao final da SD. Trata-se de dois testes individuais, sendo um deles de múltipla escolha, com questões de vestibulares, ENEM e OBF, voltadas para a Física da panela de pressão, e o outro com uma única questão discursiva sobre a Física envolvida durante o cozimento dos alimentos na panela de pressão. Foi necessário avaliações que direcionassem também para as avaliações externas, visto que o projeto política-pedagógica da escola preparar os educandos para ingresso no nível superior.

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

Esses instrumentos, utilizados de forma integrada, permitiram uma coleta de dados abrangente e enriquecedora (Lakatos; Marconi, 2021; 2022a; 2022b; Ludke; André, 1986; Creswell; Creswell, 2021), contribuindo significativamente para a pesquisa educacional e para uma análise completa da SD aplicada.

4.5 RECURSOS DIDÁTICOS UTILIZADOS

A seguir, lista-se os seguintes recursos materiais didáticos usados ao longo de toda a aplicação da SD. São eles:

- Livros didáticos de Física e/ou CNT;
- Televisão com entrada USB;
- Uma panela de pressão (com tampa adaptada para aferir temperaturas e pressões em seu interior);
- Papéis ofício e canetas;
- Cadernos;
- Textos impressos;
- Lousa (quadro branco);
- Apagador;
- Pincéis coloridos para quadro branco;
- Pen drive;
- Vídeos sobre ebulição da água;
- Termômetros de imersão.

4.6 ADAPTAÇÃO DA PANELA DE PRESSÃO

A Tabela 3 contém todos os custos financeiros (R\$) para a produção do aparato experimental central da pesquisa e necessários para a realização das atividades da SD. Devido a praticidade, optou-se por utilizar um fogareiro portátil comumente utilizado em acampamentos, pescarias etc. Este tipo de fogareiro é abastecido por gás inflamável contido em uma lata de metal que é instalada na lateral do fogareiro. É um item extremamente prático e de fácil transporte e manuseio. Não sabendo o real tempo de duração de cada refil de gás, optou-se por comprar 04 (quatro) unidades, visto que ainda teria que realizar alguns testes antes de

utilizar com os educandos no laboratório de Ciências, além do dia em si que iria utilizar bastante com os mesmos em sala de aula, visto que seria uma prática feita com cada grupo de uma vez.

Tabela 3 – Relação de materiais e serviço para a adaptação da panela de pressão e utilização na SD.

Item	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Frete (R\$)	Custo Total (R\$)
Manômetro vertical de rosca 1/8	01	39,50	*****	39,50
Selante de silicone p/ motor	01	18,53	*****	18,53
Termômetro vertical de rosca 1/2	01	119,90	*****	119,90
Arruela 1/2	02	1,50	*****	3,00
Termômetro capilar de álcool	01	34,60	15,80	50,4
Panela de pressão pequena	01	39,90	*****	39,90
Mão de obra (torneiro mecânico)	01	100,00	*****	100,00
Fita veda-rosca	01	3,40	*****	3,40
Balança digital de cozinha	01	48,99	15,80	64,79
Fogareiro portátil	01	162,34	*****	162,34
Cartucho gás butano p/ fogareiro	04	13,60	*****	54,40
Paquímetro digital	01	39,90	18,12	58,02
Total	16	*****	*****	714,18

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

O veda rosca foi usado para fornecer uma vedação durante o rosqueamento do termômetro e do manômetro na tampa da panela de pressão. Durante os testes feitos assim que o aparato ficou pronto, constatou-se que haviam dois locais com vazamento de vapor de água, o que impossibilitava a panela de pegar a pressão necessária para a água ferver acima dos 100 °C. Com isso, optou-se por comprar o selante para motor automotivo, que suporta altas temperaturas, e fez-se a correção, pela parte debaixo da tampa nos locais de vazamento de vapor, que eram pela junção do termômetro com a tampa. A partir de então, os novos testes foram bem sucedidos, registrando aumento de pressão interna pelo manômetro, implicando no aumento da temperatura de ebulição da água que foi registrado pelo termômetro. Contudo, os valores registrados pelos dois instrumentos de medidas pareciam incoerentes com os presentes e constatados na literatura acadêmica.

Ao nível do mar, como é o caso da cidade de Caravelas, o termômetro deveria indicar 120 °C para a temperatura de ebulição da água no interior da panela de pressão, ao passo que o manômetro deveria indicar uma pressão de 2,0 bar (Nunes, 2017; Silveira, 2010; 2013; 2020; Locatelli, 2019; Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2006; 2015; Grupo de Ensino de Física, 2020; Rodrigues; Possamai, 2019). Os instrumentos apresentaram-se imprecisos.

No entanto, isso não afetou o andamento da SD, visto que o fator crucial seria demonstrar que o aumento da pressão interna aumentaria a temperatura de ebulição da água. E isso era constatado na experiência, apesar dos valores errados. O termômetro indicava sempre um valor entre 97 °C e 100 °C para a temperatura de ebulição da água, ao passo que o

manômetro indicava aproximadamente 1,55 bar a 1,60 bar, no momento em que a panela “pegava pressão” e sua válvula reguladora entrava em funcionamento.

A panela utilizada foi uma panela de pressão velha pertencente ao Autor (2024) há mais de 10 (dez) anos. Com isto, optou-se por comprar uma panela de pressão nova para substituir a panela velha em sua residência, enquanto a panela velha acabou sendo usada para a adaptação e realização das atividades práticas experimentais ao longo da SD.

Devido à falta de instrumental adequado e técnica do Autor (2024), optou-se por pagar a mão de obra de um torneiro mecânico da cidade de Caravelas, pois o mesmo detém técnica e instrumental adequados para criar os furos rosqueados na tampa da panela de pressão e para instalação do termômetro e do manômetro de roscas e verticais. O valor cobrado foi caro, mas dos três torneiros mecânicos existentes na cidade, apenas 01 (um) tinha os “*machos*”¹² com as medidas exatas para criar as roscas das medidas do termômetro e do manômetro. Portanto, acabou cobrando um pouco caro. Não havendo opções, o serviço foi encomendado e pago o valor pedido, conforme consta na Tabela 3 acima.

Com a intenção de saber o real valor da temperatura na prática, optou-se por comprar um termômetro capilar de álcool. A partir deste instrumental, muito preciso, aferiu-se a temperatura da água em sua condição normal. O valor registrado por este termômetro indicava um valor de 24 °C. No entanto, o mesmo foi feito utilizando o termômetro de rosca, que registrou um valor entre 25 °C e 27 °C para a temperatura ambiente da água, no mesmo momento.

A partir de então pôde-se suspeitar que a imprecisão do termômetro de rosca era maior à medida que a temperatura iria aumentando. Com isso, mediu-se a temperatura de ebulição da água a pressão atmosférica local (com a tampa da panela aberta) com os dois termômetros, em que foi constatado uma diferença ainda maior nos registros dos dois termômetros. Enquanto o termômetro capilar de álcool registrou um valor extremamente preciso e coerente com os constantes na literatura científica, que foi de 100 °C, o termômetro de rosca registrou um valor de 85 °C. Isso mostrou a imprecisão deste último termômetro.

A Figura 50 abaixo ilustra os componentes que foram utilizados para adaptação da panela de pressão para a realização da experiência (fotos superiores) e o aparato já finalizado, testado, ajustado e pronto para iniciar as práticas experimentais.

¹² É um termo comumente utilizado na metrologia, mecânica e engenharia para se referir a uma ferramenta específica capaz de criar roscas internas com medidas específicas em materiais como metais, plásticos, madeiras, concreto etc., permitindo que parafusos de roscas correspondentes sejam inseridos, possibilitando a fixação de peças e componentes.

Figura 50 – Elementos para confecção da maquete experimental (fotos superiores). Maquete experimental concluída (foto inferior). *Obs.:* Faltou nas fotos as arruelas que foram no termômetro de rosca.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Figura 51 ilustra todos os componentes necessários para a realização das atividades práticas experimentais propostas na SD. A panela de pressão já com tampa adaptada para aferir temperatura e pressão em seu interior durante a fervura da água, a balança digital utilizada para aferição da massa da válvula reguladora de pressão, o paquímetro digital utilizado para medir o diâmetro interno da saída de vapor do pino central da tampa da panela de pressão, o fogareiro com o refil de gás foi utilizado como fonte de calor para fornecimento de energia ao sistema termodinâmico (panela de pressão) para que pudesse realizar a atividade de forma prática e mais segura no laboratório de Ciências, e o termômetro capilar de álcool que foi utilizado no teste comparativo e também em uma das atividades propostas na SD, realizada junto aos educandos.

Figura 51 – Elementos da bancada experimental completa para a realização das práticas experimentais.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Ao longo da SD foram 34 aulas que se estenderam durante toda a III unidade letiva da escola. Devido isto, a própria avaliação feita com os educandos ao final da SD foi utilizada como média final compartilhada entre Física e Inovação Científica e Tecnológica.

4.7 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

4.7.1 Primeiro Momento Pedagógico: Problematização Inicial (O Estudo da Realidade)

No dia 13/09/2023, em uma aula de 50 minutos, foi apresentada aos sujeitos da pesquisa (educandos da turma 2AM) a proposta da SD. Essa aula foi introdutória para esclarecimentos e ponderações acerca da SD. O ambiente da aula foi na biblioteca da escola, no qual foram utilizados slides para apresentação por meio de uma televisão.

Foi evidenciado aos mesmos os motivos e relevância social e científica da aplicação da SD, os objetivos gerais e específicos de aprendizagem, a metodologia a ser adotada, as etapas da SD e as atividades (teóricas, experimentais, computacionais, produções textuais etc.) em grupos e individuais que seriam realizadas em cada uma dessas etapas e o que se espera de cada uma das etapas.

Aqui, destaca-se a importância do resgate dos conhecimentos prévios dos educandos como uma etapa crucial na prática educativa. O objetivo principal é coletar informações gerais sobre o que os educandos já sabem e entendem sobre determinado assunto, por meio de questionários impressos para respostas discursivas.

O resgate dos conhecimentos prévios busca reconhecer, valorizar e trazer à tona os saberes preliminares dos educandos. Ao fazer isto, cria-se uma base sólida para iniciar investigações e discussões mais aprofundadas e detalhadas posteriormente. Esses conhecimentos prévios são reaproveitados como ponto de partida para a construção de novos aprendizados, servindo também para avaliação futura da aprendizagem.

Na aula do dia 20/09/2023, foi aplicada a primeira avaliação diagnóstica (Apêndice D) aos educandos. Esta avaliação foi realizada de forma individual, no qual os educandos responderam 10 (dez) perguntas do questionário impresso a respeito de algumas situações corriqueiras do dia a dia na cozinha durante o processo de cozimento dos alimentos. Houve um bom engajamento dos mesmos, de forma unânime, em responder às perguntas propostas. Houve discussão com os mesmos a respeito de alguns pontos relevantes e também quando algum educando solicitava algum esclarecimento ou fazia alguma ponderação.

Na aula do dia 27/09/2023, a turma foi dividida em 8 grupos compostos por 04 (quatro) membros cada.

Aos educandos foi dada a autonomia de escolher o nome de seus grupos. No entanto, a única ressalva feita e comunicada a eles foi de que o nome de cada grupo deveria ser apenas uma palavra que remetesse diretamente à cidade de Caravelas e fosse precedida da palavra “Equipe”, de modo a evitar demora na escolha e o aparecimento de nomes impróprios.

Nesse viés, dentre os nomes escolhidos por eles estavam nomes de praias, animais, arquipélago, uma espécie de árvore e o evento turístico principal da cidade. Portanto, os nomes dos grupos ficaram assim:

Grupo 1: *Equipe Grauçá* (é uma praia da cidade, a mais famosa e populosa da cidade, a 10 km do centro)

Grupo 2: *Equipe Quitongo* (é uma praia da cidade, a uns 3 km do centro)

Grupo 3: *Equipe Jubarte* (é uma espécie de baleia que todos os anos aparecem nas águas mornas da região de Caravelas, entre junho e novembro, para procriarem)

Grupo 4: *Equipe Gameleira* (é uma árvore centenária da cidade, extremamente grande, que foi partida ao meio no começo deste ano após uma intensa chuva com ventos fortes)

Grupo 5: *Equipe Abrolhos* (é o arquipélago de ilhas localizado a 63 km da costa de Caravelas)

Grupo 6: *Equipe Iemanjá* (é uma praia da cidade, meio isolada por ser longe, mais ou menos uns 20 km do centro da cidade)

Grupo 7: *Equipe Carnaval* (é o maior evento da cidade, extremamente famoso por sua característica tradicional com marchinhas de rua)

Grupo 8: *Equipe Atobá* (é uma ave marinha que é encontrada na região do Arquipélago de Abrolhos)

A partir de então, nesta mesma aula, cada grupo iniciou a segunda avaliação diagnóstica (Apêndice E) contendo as 06 (seis) questões, ao qual serviram de problematizações para a pesquisa (Delizoicov; Angotti, 1990). As questões foram:

- 1) *Por que os alimentos cozinham mais rápido na panela de pressão do que numa panela comum?*
- 2) *Existem riscos associados ao uso da panela de pressão? E benefícios? Se sim, quais são e por quê?*
- 3) *É importante cozinhar os alimentos antes de consumi-los? Se sim, diga o porquê disso.*
- 4) *Quais são as condições que fazem um alimento cru ficar cozido?*
- 5) *Acidentes envolvendo o uso da panela de pressão são comuns? Eles podem ser fatais? Comente sobre isso.*
- 6) *Quais medidas preventivas devemos tomar afim de minimizar os riscos de acidentes domésticos durante o cozimento dos alimentos na panela de pressão?*

Findada essa etapa de PI, partimos para a segunda fase da pesquisa, que consistiu em sistematizar todo conhecimento necessário para responder, de forma mais fundamentada, às questões norteadoras acima (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021).

4.7.2 Segundo Momento Pedagógico: Organização do Conhecimento (Aprofundamento Teórico)

No dia 04/10/2023, deu-se início a segunda etapa da aplicação da SD em sala de aula, conforme Figura 52. Para este dia foi realizada uma atividade em grupo que consistiu na leitura, seleção e discussão sobre os pontos relevantes dos textos impressos que versavam sobre a importância da energia ao longo da história da Humanidade e sobre o processo evolutivo da panela de pressão com o tempo.

Figura 52 – Educandos realizando a atividade de leitura e discussão dos textos em grupos.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

O Texto 1 é intitulado “A Energia como Pilar Central da Civilização” (Anexo B) e o Texto 2 “Panela de Pressão: Conheça a História e a Ciência por Trás do seu Funcionamento” (Anexo C).

No dia seguinte, 05/10/2023, foram realizadas algumas atividades em grupo em sala de aula. Dentre elas, está um questionário com perguntas referentes aos dois textos lidos e discutidos em sala de aula no dia anterior. Esse questionário no Apêndice F desta pesquisa. Essa foi uma atividade realizada durante a primeira aula. Na segunda aula, foi realizada a leitura, identificação e discussão dos conceitos e fenômenos físicos presentes no texto do capítulo “**A panela de pressão**” do livro “A Física na Cozinha”, de Migliavacca e Witte (2014).

Na terceira e última aula foram passados três vídeos para que pudessem ser analisados e discutidos com os educandos. Os vídeos tratam desde explicações físicas acerca da influência da pressão no tempo de cozimento dos alimentos na panela de pressão, até eventuais acidentes que ocorrem com o uso inadequado da mesma. Os vídeos são “Os mortos do Everest, a panela de pressão e a temperatura de ebulição da água” que aborda a influência da pressão na temperatura de ebulição da água e conseqüentemente no tempo de cozimento dos alimentos (Locatelli, 2019), “Simulação Explosão Panela de Pressão” e “Brasil tem 1.200 acidentes com panelas de pressão por ano” (Record News, 2023). Esses dois últimos vídeos tratam especificamente da situação em que ocorrem acidentes domésticos com a panela de pressão. O segundo vídeo serviu como ponto de partida para uma discussão acerca do padrão ocorrido durante a explosão de uma panela de pressão, que foi muito bem notado pelos educandos. Por

meio desses vídeos, pôde-se atentar aos educandos, que ficaram surpresos, quanto aos fatores que corroboram para que uma eventual explosão da panela de pressão possa acontecer. Além disso, algumas medidas preventivas também foram evidenciadas nos vídeos e discutidas com os mesmos durante o momento de aula.

Figura 53 – Momento em que os educandos assistiam ao vídeo sobre a relação entre altitude, pressão e temperatura de ebulição da água.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Na imagem da Figura 53 é possível notar na TV que o apresentador traz uma explicação a respeito da influência da altitude no tempo de cozimento dos alimentos. Para isso, ele faz uma comparação entre alguns locais com altitudes diferentes entre si, em relação ao nível do mar, no qual o ponto de maior altitude é o topo do Monte Everest, localizado a cerca de 8,9 km acima do nível do mar, e o ponto de menor altitude é a cidade de Santos, no litoral paulista.

Os educandos prestam atenção devido a dinâmica e didática do professor e apresentador do vídeo, mestre Locatelli (2019), ser muito boa e, por meio de uma discussão com o professor em sala, foi possível que muitos dos educandos compreendessem o motivo pelo qual a atmosfera tem influência na temperatura de ebulição da água.

Figura 54 – Momento em que os educandos assistiam ao vídeo sobre a Física da panela de pressão.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Figura 54 ilustra o momento em que os educandos assistiam a parte do vídeo sobre a Física da panela de pressão, com o professor e apresentador mestre Locatelli (2019), que tratava especificamente do motivo pelo qual a panela de pressão cozinha os alimentos de forma mais rápida do que as panelas comuns abertas. No vídeo é explicado a Física envolvida no processo, que o aumento da pressão interna faz com que as moléculas de água líquida necessitem de mais energia térmica para vencer a tensão superficial da água e escapem na forma de moléculas de vapor d'água. Além disso, esse vídeo é muito bom, pois o apresentador também aborda sobre as partes da panela de pressão e suas funcionalidades, como pode ser visto na imagem, e as medidas preventivas que devemos ter ao se manusear este utensílio doméstico tão comum no nosso dia a dia.

Aqui foi colocado que quanto maior for a altitude, menor e menos densa será a camada de ar acima. Portanto, essa camada de ar exerce uma menor pressão em pontos localizado a esta altitude e isso facilita o escape das moléculas da água líquida para o meio externo na forma de moléculas de vapor d'água. E isso implica que a transição de fase líquido-gasoso se dará a uma menor temperatura ($\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$). Em contrapartida, na cidade de Santos, por ter uma maior camada de ar acima de sua superfície, e mais densa, irá contribuir para uma maior pressão nesse local. Portanto, essa pressão mais intensa irá dificultar o escape das moléculas de água líquida para o meio exterior na forma de moléculas de vapor d'água ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Locais intermediários como a cidade boliviana de La Paz, a pouco mais de 3,6 km de altitude em relação ao nível do mar, irá apresentar uma pressão maior do que a do topo do Monte Everest, porém menor do que aquela na cidade de Santos. A essa altitude, a água passa

a ferver em torno de $87\text{ }^{\circ}\text{C}$. Já na cidade do interior de Jundiaí – SP, localizada a 760 m acima do nível do mar, a temperatura de ebulição da água é cerca de $98\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 55 – Momento em que os educandos assistiam ao vídeo sobre a simulação real da explosão de uma panela de pressão.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Figura 55 mostra o momento de atenção dos educandos assistindo ao vídeo em que membros de uma equipe do corpo de bombeiros criam um ambiente real de cozinha doméstica para simular uma explosão real de uma panela de pressão. Em câmera lenta, pode-se notar com detalhes todos os momentos antes, durante, e após a explosão, bem como o padrão gerado pela mesma. Neste momento, o professor mencionou aos educandos que tal padrão (em que as duas partes da panela são expelidas em sentidos opostos ao longo da vertical) deve-se ao Princípio da Conservação do Momento Linear, que está diretamente ligado à 2ª e à 3ª Leis de Newton do movimento e que isso seria abordado na aula expositiva e dialogada posterior.

Figura 56 – Momento em que os educandos assistiam ao vídeo sobre a reportagem com acidentes reais envolvendo o uso da panela de pressão durante o cozimento dos alimentos.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

No vídeo da reportagem sobre acidentes domésticos envolvendo a panela de pressão (Figura 56), os educandos ficaram surpresos com a gravidade e a recorrência dos acidentes envolvendo a panela de pressão. Os mesmos se mostraram muito atentos principalmente quanto às condições que favorecem para que uma panela de pressão exploda. Neste momento, o professor chamou atenção da turma para as medidas preventivas que devemos adotar sempre de modo a minimizar a probabilidade de acidentes. Nesta reportagem foi falado sobre uma mulher de 36 anos de idade que, em seu primeiro dia de trabalho em um restaurante de Brasília – DF, veio a óbito após a panela de pressão explodir próxima a ela. Outros acidentes, não fatais, foram mencionados na reportagem. Além disso, a estatística da PROTESTE, de um quantitativo de 1.200 acidentes domésticos com a panela de pressão por ano (Pirapop Notícias, 2023), foi abordado na reportagem. Isso é crucial para os educandos compreenderem que a panela de pressão, apesar de segura, pode representar riscos enormes à integridade física das pessoas quando indevidamente utilizada.

Foi solicitado aos educandos que anotassem os principais pontos observados nos vídeos, que mais lhe chamaram atenção, e criassem uma síntese escrita, por grupo, sobre os pontos relevantes abordados nos vídeos assistidos.

Para prevenir contra problemas eventuais de conexão com a internet, uma vez que os vídeos se encontram disponibilizados no YouTube, os mesmos foram previamente baixados no

notebook que, por sua vez, foi conectado por meio de cabo HDMI à TV da sala momentos antes da aula.

No dia 11/10/2023, durante a aula de Física, os educandos participaram de uma aula expositiva e dialogada sobre os fenômenos físicos que estão associados com o cozimento dos alimentos na panela de pressão (Figura 57 e Figura 59).

Figura 57 – Momento da aula expositiva dialogada com os educandos acerca dos fenômenos físicos associados ao cozimento dos alimentos na panela de pressão, bem como com a eventual explosão da mesma.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Figura 58 – Explicação dos princípios físicos que regem o fenômeno da explosão da panela de pressão.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Neste dia, foi feita uma profunda análise e discussão sobre como a panela de pressão consegue fazer com que os alimentos cozinhem mais rápido do que nas panelas comuns abertas.

Aproveitando o gancho do vídeo apresentado por Locatelli (2019), a explicação se deu com uma visão microscópica da água, em que as moléculas da mesma, ao atingirem uma maior energia interna, passam a ter um maior grau de agitação molecular (temperatura), no qual aumenta a probabilidade das mesmas em escaparem das ligações químicas (forças eletromagnéticas) entre elas e, sobretudo, entre as moléculas da superfície (tensão superficial), passando para o estado gasoso na forma de vapor d'água.

Com isso, devido ao acúmulo de vapor dentro da panela, a pressão sobre a água líquida passa a aumentar e, conseqüentemente, a dificuldade dessas moléculas de água no estado líquido em escapar se torna maior. Com isso, elas precisam adquirir maior energia interna para atingir um ponto de ebulição maior. É essa energia a mais fornecida às moléculas de água no estado líquido que faz com que os alimentos cozinhem mais rápido, uma vez que o calor que é o responsável pela reação química que torna um alimento cru em cozido, da mesma forma que é responsável por ser um catalizador da própria reação química que ele inicia durante esse processo.

Foi explicado também que o calor é a energia térmica que flui da fonte térmica (fogo da boca do fogão) para o interior da panela por meio dos processos de condução térmica (através do fundo sólido da panela) e convecção térmica (ocorrido na água no interior da panela). O calor, que é tanto uma grandeza física quantificável (calor sensível e calor latente), quanto um fenômeno físico (energia que é transferida de um sistema para outro em virtude exclusiva da diferença de temperatura entre eles, ocorrendo sempre de forma espontânea do sistema de maior para o de menor temperatura), é transportado pelas correntes de convecção que são resultado da diferença de densidades entre as partes inferior e superior da água líquida no interior da panela de pressão, em que a porção de água mais quente e menos densa sobe, enquanto a porção mais fria e mais densa, desce para a parte inferior, onde é aquecida, ficando menos densa, voltando a subir, caracterizando as correntes de convecção que propagam o calor no interior do fluido (água). Com isso, essa energia passa a ter contato com os alimentos crus imersos na água, iniciando uma reação química chamada reação de Maillard, que faz com que os alimentos fiquem cozidos. Além dos processos de propagação de calor, foi comentado sobre os dois principais fenômenos físicos presentes nessa situação.

O primeiro deles é o aquecimento da água no interior da panela. Para isso, foi mencionado sobre a capacidade térmica da água e sua relação com a demora que a água tem em variar sua temperatura, devido sua alta capacidade térmica. E até atingir a temperatura de

ebulição local da água, leva um certo tempo, e que esse tempo está diretamente relacionado à quantidade de água (massa) que está sendo aquecida, que quanto maior a massa de água, maior será o tempo para se chegar à temperatura de ebulição local.

A partir daí, foi falado sobre o segundo fenômeno físico, que é a transição de fase ocorrida entre as fases líquida e gasosa da água no interior da panela. Há dois tipos de transições nessa situação: uma endotérmica, que absorve energia na forma de calor, e outra exotérmica, que libera energia na forma de calor.

A primeira é a vaporização (endotérmica), que é a passagem do líquido para o gasoso, por meio do fornecimento de energia para que cada grama da substância transite do líquido para o gasoso. A partir do momento que parte da água líquida vaporiza no interior da panela, acumulando moléculas na fase gasosa, passa a existir uma coexistência entre dois estados físicos em equilíbrio termodinâmico, que são a fase líquida e a fase gasosa. Com isso, a pressão adicional no interior da panela aumenta à medida que o fornecimento de energia na forma de calor continua vaporizando a água líquida.

A segunda mudança de fase presente é a condensação (exotérmica) dos vapores de água na parte interna da tampa da panela. Os vapores, que estão com uma energia interna alta, ao entrarem em contato com a superfície metálica, e menos quente, do interior da tampa da panela de pressão, perdem energia, fazendo com que essas moléculas de vapor d'água entrem em condensação, voltando ao estado líquido na forma de gotículas de água líquida na tampa, que pode ser facilmente verificado quando se abre a tampa da panela após o processo de cozimento dos alimentos.

Foi abordado com os educandos que o aumento da pressão no interior da panela faz com que aumente a pressão sobre a água líquida, aumentando cada vez mais seu ponto de ebulição. Com isso, a partir do momento que essa pressão interna supera as pressões externas (atmosférica local + válvula reguladora), o excesso de vapor escapa pelos orifícios de saída da válvula reguladora, fazendo com que a quantidade de vapor no interior da panela fique estabilizada e, conseqüentemente, a pressão interna se mantenha constante em um valor que, normalmente, é de 2,00 atm, resultando em uma temperatura interna de 120 °C, 20 °C acima do valor de ebulição quando a água ferve somente com a pressão de 1,00 atm ao nível do mar.

Além disso, foi abordado sobre as transformações de energia ocorridas nesse processo, como a energia térmica dos vapores de água que é convertida em energia mecânica, na forma de trabalho mecânico, quando a válvula reguladora é acionada e se ergue, uma vez que há expansão gasosa, permitindo o escape do excesso de vapor em seu interior, além da transformação de energia cinética desses mesmos vapores quando escapam que, devido ao atrito

com as moléculas de ar do lado de fora da panela ao redor da válvula, faz com parte dessa energia cinética dos vapores seja dissipada, transformando-a em energia sonora (som do chiado característico da panela de pressão).

Outro ponto importante da aula foi quando se comentou que a panela de pressão consiste em um sistema termodinâmico que, em um certo momento é fechado, enquanto que em outro momento é aberto. Enquanto a válvula reguladora está fechada, obstruindo assim a expansão dos vapores no interior da panela e, conseqüentemente, o escape dos mesmos para o meio externo, a panela de pressão se configura como um sistema termodinâmico fechado. Ou seja, só permite trocas de energia entre o meio externo (ar atmosférico, fogão etc.) e o sistema (panela de pressão + alimentos e água em seu interior) na forma de calor.

No entanto, quando a pressão interna atinge o limite estabelecido pelo fabricante para que sua pressão interior seja de 2,00 atm e temperatura de 120 °C, a válvula reguladora se abre (é erguida), permitindo além da troca de energia com o meio externo, também a troca de matéria (afinal, sai vapor “massa”), caracterizando um sistema termodinâmico aberto.

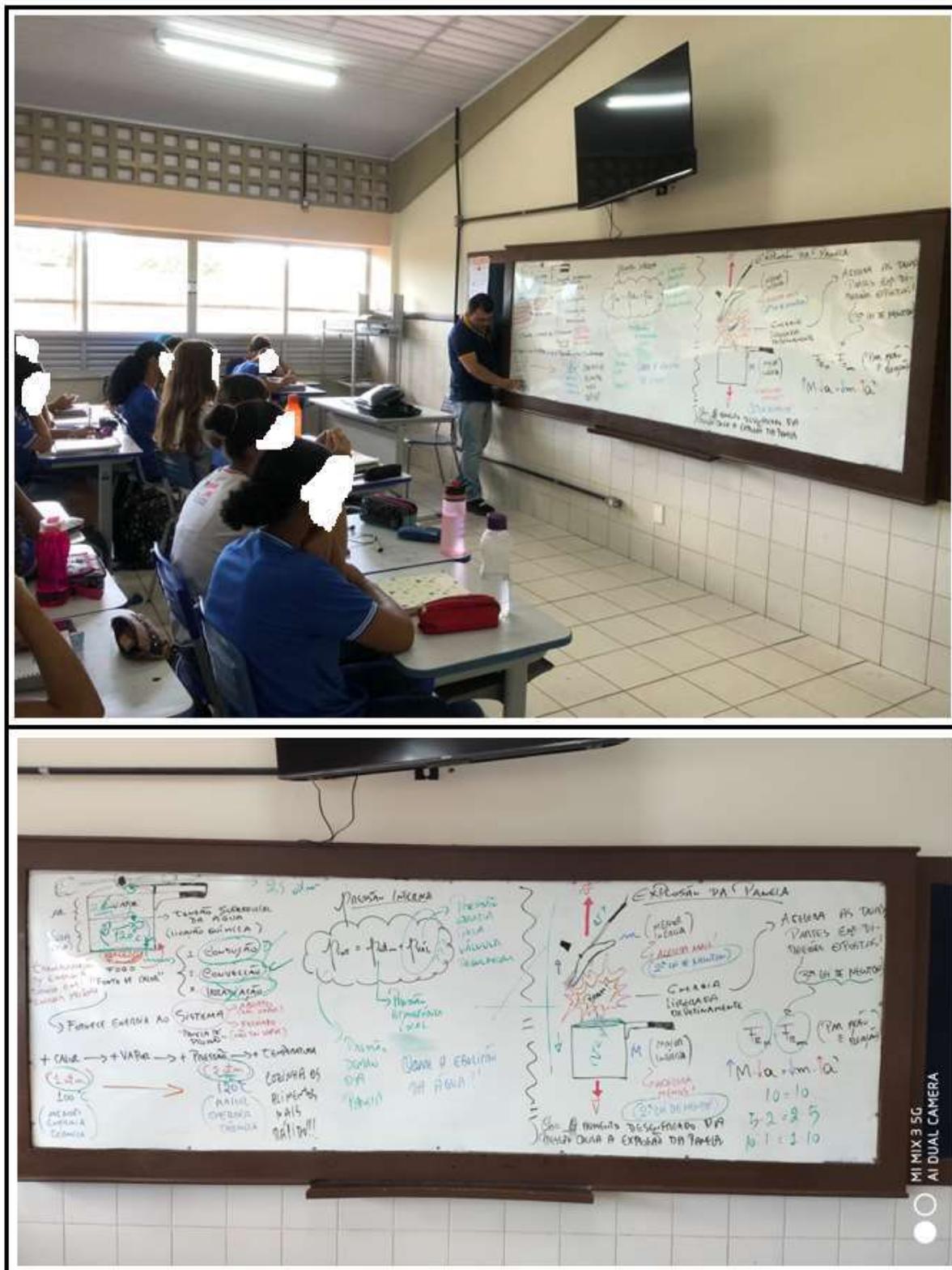
Além disso, abordou-se sobre o conceito de fronteira de um sistema físico termodinâmico, que nesse caso da panela de pressão, consiste na interface ar-panela, pela parte de fora da panela, e que a região externa bem próxima a essa fronteira, é chamada de vizinhança do sistema, e que é com essa vizinhança que são feitas as trocas de energia na forma de calor e/ou trabalho.

Outro fenômeno físico abordado foi a explosão da panela de pressão (Figura 58). Foi explicado que durante o fornecimento de energia na forma de calor ao sistema (panela de pressão), a energia interna da água e do vapor d'água em seu interior aumenta. Com isso, em caso do não funcionamento simultâneo das válvulas reguladora de pressão e de segurança, a pressão no interior da panela irá aumentar até que a estrutura ceda em seu ponto mais frágil, que é a junção do corpo da panela com a tampa, resultando numa liberação abrupta de energia térmica em energia cinética (explosão) transferida às partes da panela de pressão (corpo + tampa), em que foi enfatizado que isso acelera ambas as partes da panela de pressão em direções opostas, criando o padrão de acidente observado nos vídeos da aula anterior, que em o corpo da panela, com boa parte do seu conteúdo, afunda na superfície superior do fogão, enquanto sua tampa e parte do conteúdo da panela são ejetados em direção ao teto com uma maior velocidade, devido a menor inércia.

Nessa situação, foi abordado na aula sobre a 2ª e a 3ª Lei de Newton, assim como o Princípio da Conservação do Momento Linear, que explicam o porquê da tampa e do corpo da panela de pressão serem expelidos em direções opostas e com acelerações diferentes, devido ao

fato de que, quanto maior a massa de um objeto (corpo da panela com alimentos e água dentro), acelera menos do que o corpo de menor massa (tampa da panela), justamente por possuir uma maior inércia.

Figura 59 – Momento da explicação (foto superior). Quadro ao final da explicação (foto inferior).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Outro fator importante abordado durante o momento de aula expositiva e dialogada foram os fatores que ocasionam a explosão da panela de pressão, como o não funcionamento simultâneo das válvulas reguladores de pressão e segurança. No caso da primeira válvula, foi comentando com os educandos sobre a importância de se higienizar sempre os orifícios de saída de vapor da válvula de controle e do pino de saída de vapor da tampa da panela de pressão, após seu uso.

Além do mais, comentou-se sobre os cuidados de sempre evitar levar à panela para resfriar rapidamente em baixo da torneira da pia após retirá-la do fogo, uma vez que isso pode ocasionar choques térmicos que podem resultar em micro fraturas na estrutura metálica da panela, podendo ocasionar um rompimento da mesma em usos futuros, além de danificar a borracha de vedação da tampa.

Deixar sempre um *espaço vazio*¹³ de aproximadamente 1/3 do volume interno da panela, para evitar que restos de alimentos possam obstruir à saída dos vapores pela válvula reguladora, é outra importante medida que foi abordada com os educandos.

Outro ponto abordado com os educandos foi de nunca substituir nenhuma das duas válvulas por válvulas não originais de fábrica, uma vez que cada panela é projetada para operar com um valor máximo de pressão em seu interior que é determinada pela sua massa. Se uma válvula mais pesada for colocada no lugar, afim de tentar adquirir temperaturas maiores para dinamizar ainda mais o cozimento dos alimentos, isso pode acarretar em uma explosão da panela por não suportar o valor adicional que foi projetada para suportar.

Todas essas medidas de segurança foram previamente apresentadas aos educandos por meio dos vídeos passados na aula anterior que abordavam sobre a simulação real da explosão de uma panela de pressão e do vídeo que tratava sobre acidentes envolvendo o uso deste utensílio durante o preparo dos alimentos.

No dia 18/10/2023, foi aplicado uma atividade grupal que versava sobre pontos discutidos em sala na aula anterior sobre os acidentes que envolve a panela de pressão (Figura 60). A atividade trata-se de um questionário impresso com quatro questões discursivas (Apêndice G) em que os educandos, conjuntamente, responderam e também tiraram dúvidas com o professor, principalmente no que tangia ao fenômeno físico associado à explosão da mesma.

¹³ Muitas pessoas preenchem totalmente o espaço interno da panela de pressão com água para cozinhar os alimentos. Esse tipo de atitude pode ocasionar o entupimento da válvula reguladora de pressão devido a partes dos alimentos que podem obstruir às saídas dos vapores excedentes, podendo ocorrer uma explosão em caso da válvula de segurança, por algum motivo, não ser acionada adequadamente.

Figura 60 – Educandos respondendo à atividade discursiva sobre acidentes com a panela de pressão.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

No dia 19/10/2023, durante as três aulas seguidas programadas, foi apresentado pessoalmente aos educandos a panela de pressão já toda adaptada para aferir temperatura e pressão, conforme Figura 61. No entanto, este dia em particular foi utilizado para que os educandos pudessem manipular o equipamento gerador (Bastos, 1990) e pudesse discutir a respeito de suas partes e funcionalidades.

Figura 61 – Mostra da panela de pressão adaptada e discussão sobre suas partes e objetivo da aula do dia.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Percebeu-se que assim que os mesmos viram o primeiro elemento do aparato experimental, conforme imagem inferior da Figura 50, alguns educandos mostraram-se entusiasmados ao verem pessoalmente o que eles tinham visto na primeira aula apenas por imagem durante um os momentos da apresentação da SD em slides. A partir daí, foi explicado sobre o uso que esse equipamento gerador adaptado iria ter na semana seguinte e sua associação direta com o objetivo geral da pesquisa.

Tal atividade do dia seria a primeira parte da experimentação proposta na SD, que consistiu em realizar uma estimativa matemática sobre a pressão interna e a temperatura de ebulição da água no interior daquela panela de pressão em específico para que pudesse ser confrontada com o resultado experimental real na semana seguinte, obtidos pelo termômetro e pelo manômetro instalados na tampa da panela de pressão. Para isso, seguiu-se o roteiro de atividades (Apêndice H) que foi entregue impresso para cada um dos grupos presentes conseguissem seguir de acordo com o passo a passo. No entanto, um dos grupos não compareceu nesse momento, sendo que outros grupos compareceram apenas uma parte dos membros e apenas 02 (dois) grupos estavam com completos. E um dos grupos havia apenas um educando presente, o que exigiu que o professor fornecesse mais suporte a essa pessoa em particular, em relação aos demais na orientação e execução das atividades.

Para atingir o objetivo dessa aula, os educandos fizeram medições do diâmetro interno da saída dos vapores no pino central da tampa da panela de pressão, utilizando o *paquímetro digital*¹⁴, bem como aferiram a massa a válvula reguladora de pressão, utilizando a balança digital de precisão¹⁵.

Cada grupo fez 05 (cinco) medidas de diâmetro e massa, e tiraram a média de cada uma delas para que pudessem ser usadas nos cálculos estimativos. Posteriormente os diâmetros médios obtidos por cada grupo foram convertidos para metros (m), uma vez que foram obtidos em milímetros (mm) pelo paquímetro digital, e tomado a metade de seus valores para obtenção do raio. O valor médio das massas obtidas por eles foi convertido de grama (g) para quilograma (kg).

Abaixo segue algumas fotos de momentos em que alguns grupos realizavam as atividades propostas no roteiro.

¹⁴ Instrumento que possibilita medições de comprimento mais precisas, com menor margem de erro. No entanto, pode-se utilizar paquímetros mecânicos.

¹⁵ Instrumento com sensibilidade suficiente para aferir cada grama de massa de um objeto. Tem que ser balança de precisão, culinária ou científica, para ter uma menor margem de erros das medidas.

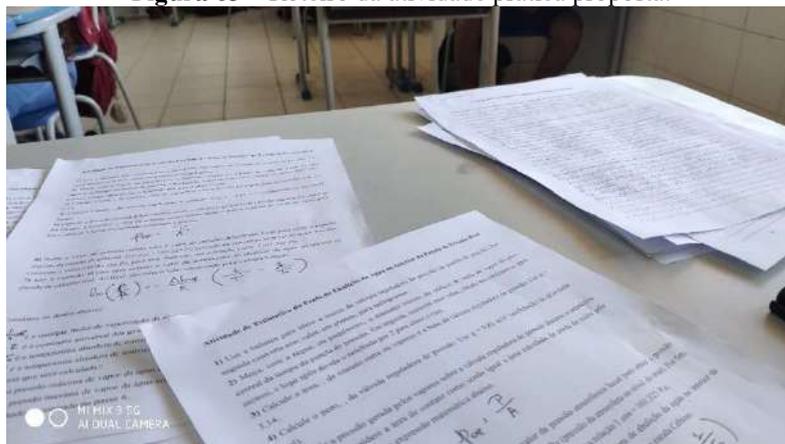
Figura 62 – Equipe Grauçá fazendo medições da massa da válvula reguladora (foto superior e inferior) e do diâmetro interno do orifício do pino central de saída dos vapores da tampa da panela de pressão (fotos centrais).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Essas atividades envolvendo as medições possibilitaram aos educandos uma centralidade no processo educativo, além de fomentar que suas ações sejam ativas e não meramente passivas (Freire, 1987; 2021; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021; Bastos, 1990; Bazin, 1977a).

Figura 63 – Roteiro da atividade prática proposta.



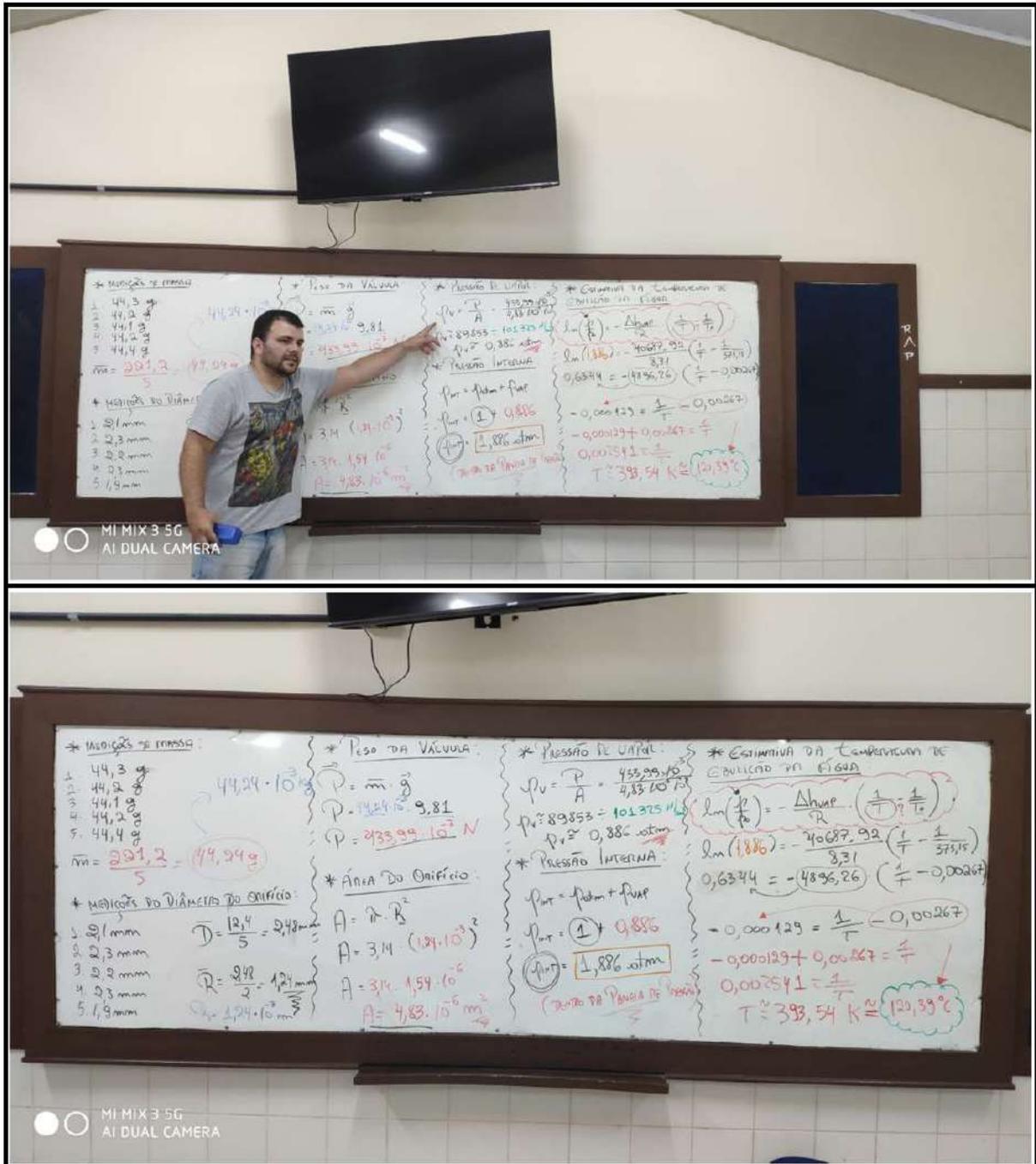
Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Caso queira ver fotos dos demais grupos realizando a atividade supracitada, acesse o link <https://docs.google.com/document/d/1I12QUx9m3bJ4IH5i-ih46B3kh-7U2ACe/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true> ou pelo QR Code abaixo:



Por fim, após os educandos concluírem em grupo a atividade proposta no roteiro de atividades (Apêndice H) com auxílio do professor, uma resolução geral coletiva foi feita de forma expositiva para toda a classe. Durante esta resolução, foi solicitado algumas informações obtidas durante as medições de alguns grupos. Essas informações versavam sobre medidas de diâmetro interno do orifício do pino central da tampa da panela de pressão, bem como da massa aferida da válvula reguladora de pressão. Com isto, tomando cinco valores no total para cada uma das duas grandezas, tirou-se a média aritmética simples de cada uma a partir dos valores fornecidos para cada uma das duas grandezas físicas: diâmetro e massa. A partir daí, pôde-se obter uma estimativa geral (coletiva) da pressão e da temperatura no interior da panela de pressão, conforme consta nas fotos da Figura 64.

Figura 64 – Momento da explicação expositiva da estimativa teórica da pressão e temperatura da água no interior da panela de pressão (foto superior). Quadro branco com a resolução feita coletivamente com os grupos (foto inferior).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

De acordo com a estimativa feita, o valor de pressão interna seria de 1,886 atm, que é muito próximo de 1,90 atm, o que implicaria numa temperatura de ebulição da água no interior da panela de pressão em torno de 120 °C (Figura 64). Este resultado, obtido por meio da resolução da equação de Clausius-Clapeyron para os dados obtidos, condiz com os resultados apresentados na Tabela 2, obtido pelo Autor (2024), e no gráfico $p \times T$ da Figura 36, obtido por

Silveira (2013, online). Portanto, um resultado bastante coerente com a literatura científica. E a partir deste resultado um confronto foi realizado na aula experimental posterior com os valores de pressão e temperatura no interior da panela de pressão real, indicados pelos instrumentos de medidas, manômetro e termômetro, na tampa dessa panela.

No dia 25/10/2023 foi realizada uma atividade (Apêndice P) em grupos no Laboratório de Informática do CPC que consistiu em fazer uso das TDIC (computadores com acesso à internet) ao proporcionar aos educandos um contato com uma experiência virtual no simulador interativo PhET, no qual os educandos manipularam o experimento virtual proposto de modo a identificar e registrar as variáveis envolvidas e que estão associadas ao cozimento dos alimentos na panela de pressão real, conforme Figuras 65 e 66 abaixo.

Figura 65 – Equipes Jubarte (superior à esquerda), Grauçá (superior à direita), Iemanjá (inferior à esquerda) e Quitongo (inferior à direita) manipulando o experimento virtual.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Figura 66 – Equipes Abrolhos (superior à esquerda), Carnaval (superior à direita), Atobá (inferior à esquerda) e Gameleira (inferior à direita, em verde) manipulando o experimento virtual.

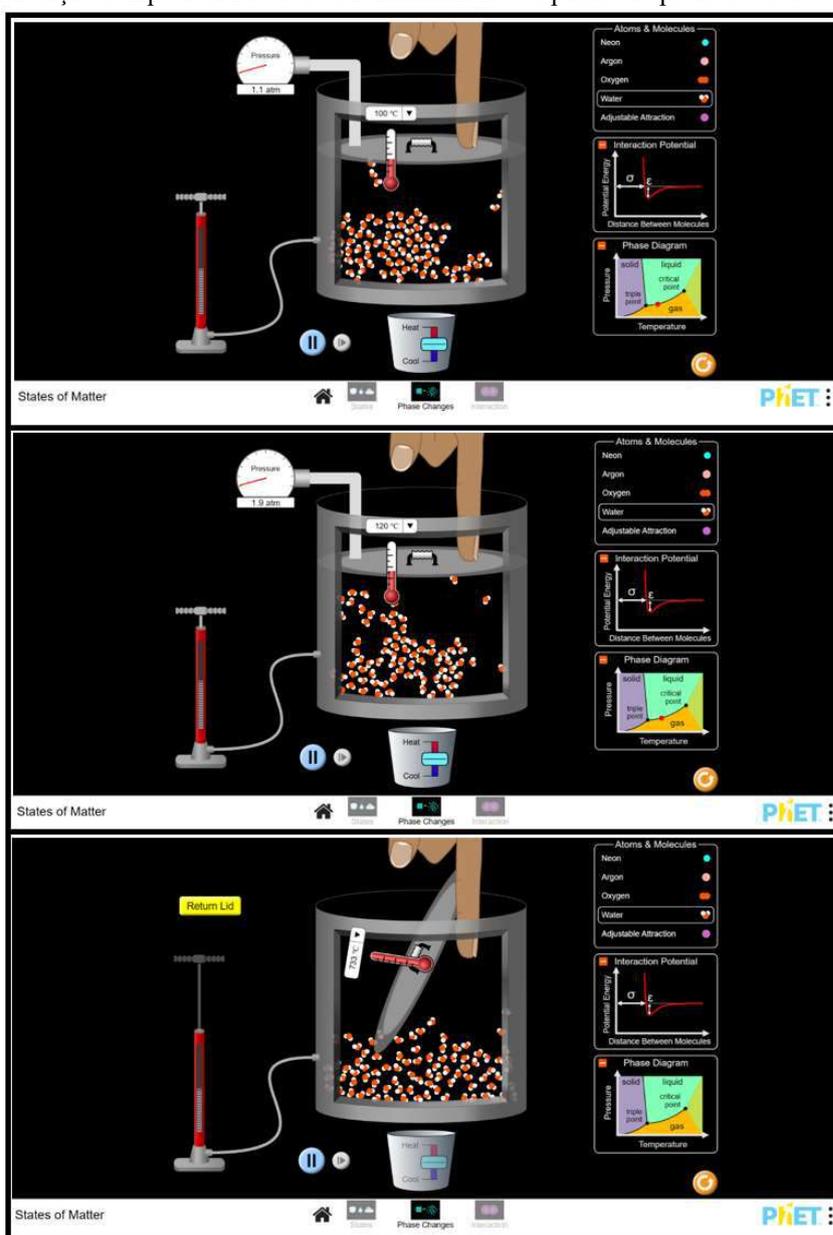


Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A atividade também proporcionou aos educandos analisar as fases de agregação molecular da água, em que cada grupo criou um modelo físico molecular para cada uma das três fases (sólido, líquido e gasoso) da água a parti das observações feitas por eles durante a simulação computacional, bem como as transições de fases ocorridas em decorrência da variação das grandezas físicas envolvidas, como calor, pressão e temperatura, por meio da leitura do diagrama de fases da água (Figura 67).

Além disto, os educandos também manipularam o experimento de modo a simular uma explosão da panela de pressão, identificando assim qual das variáveis está associada diretamente ao motivo pelo qual levou à explosão do recipiente virtual, conforme Figura 67.

Figura 67 – Simulação computacional sobre o funcionamento da panela de pressão e sua eventual explosão.



Fonte: Capturas de tela de University of Colorado Boulder (© 2002 - 2023, online).

Nas aulas do dia seguinte, 26/10/2023, foi realizada uma aula experimental com a panela de pressão real adaptada para aferir temperatura e pressão internas da água em seu interior, durante a ebulição quando a panela está fechada e sob pressão adicional.

Essas aulas foram divididas em dois momentos. O primeiro deles consistiu em executar a experiência no Laboratório de Ciências da escola, na qual foi explicado aos educandos todos os conceitos e fenômenos físicos presentes desde o momento em que a chama do fogão é ligada sob a panela com água em seu interior, até o momento em que a válvula reguladora da mesma começa a funcionar, liberando o excesso de vapor. Além disso, comentou-se sobre as medidas preventivas necessárias a um manuseio responsável e seguro da panela de pressão que as pessoas devem adotar antes, durante e após o preparo dos alimentos. Abaixo segue uma imagem contendo a foto da bancada experimental pronta para dar início às atividades práticas-experimentais da SD.

Já o segundo momento (Figura 77) foi direcionado a uma aula expositiva sobre a explosão da panela de pressão e o movimento rotacional da válvula reguladora da mesma e sua relação com o torque gerado sobre ela devido às saídas dos vapores, por meio de análises feitas através das lentes teóricas do Princípio da Conservação do Momento Linear e do Princípio da Conservação do Momento Angular.

Figura 68 – Disposição geral da turma no Laboratório de Ciências durante o início da aula experimental.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Figura 69 – Bancada experimental montada momentos antes de iniciar as atividades.



Fonte: Dados da pesquisa (2024)

Figura 70 – Aferição da temperatura ambiente da água.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

As imagens da Figura 70 ilustram os momentos do início da primeira parte da atividade experimental. A primeira foto (à esquerda), consiste do momento de apresentação das propostas dessa primeira parte e apresentação dos dois instrumentos de medidas de temperatura: o termômetro capilar de álcool e o termômetro metálico de rosca (instalado na tampa da panela

de pressão). A foto do meio registra uma imagem do momento em que se aferia a temperatura ambiente (sob pressão atmosférica local apenas) da água por meio do termômetro capilar de álcool, ao passo que a terceira foto ilustra o momento da aferição feita com o termômetro metálico de rosca. Para isto, a tampa da panela foi posicionada, sem encaixar, sobre a panela, para que o termômetro tivesse contato com a água.

Nesses momentos, os educandos de cada grupo fizeram suas respectivas leituras e anotaram os valores obtidos, segundo suas observações. Repare nas imagens que a chama do fogareiro não está acesa. Esses dois valores de temperaturas são cruciais para se criar a relação termométrica entre as escalas dos dois termômetros, visto que o termômetro metálico de rosca apresentou em testes prévios realizados uma margem de erro considerável para os valores de ebulição da água. No entanto, para temperaturas ambientes, a margem de erro é muito pequena. E a função do termômetro capilar de álcool, por ser extremamente preciso em suas medições, é exatamente a de servir como meio para obtenção de uma relação termométrica que permita aos educandos ver qual seria o valor registrado por ele, se fosse possível, para a temperatura de ebulição da água durante o momento em que a panela de pressão possui pressão interna suficiente para acionar a válvula reguladora de pressão.

Como o termômetro vertical de rosca consegue obter uma medida para essa situação, a relação termométrica baseada nos dois termômetros irá indicar o valor equivalente na escala do termômetro capilar de álcool, que é bem mais preciso e mostraria um valor bem mais próximo da realidade.

Figura 71 – Aferição da temperatura de ebulição da água à pressão atmosférica local.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Figura 72 ilustra os momentos de aferição da temperatura de ebulição da água quando submetida apenas à pressão atmosférica local, que nesse caso é de aproximadamente 1,00 *atm*. A primeira foto mostra o momento de aquecimento da água, segundo fenômeno físico ocorrido nesta situação e comentado com os educandos. Foi explicado aos mesmos que o primeiro fenômeno físico é a transferência de energia que ocorre na forma de calor, entre a fonte quente (chama do fogareiro) e o sistema termodinâmico em questão (panela de pressão).

Além disto, comentou-se que, o calor recebido do meio externo (fonte quente “chama do fogareiro”) nessa situação se propaga inicialmente por condução através da espessura do fundo da panela e depois entraria em contato com a parte inferior da água ao fundo, também por condução térmica. A partir daí, comentou-se com os educandos que à medida que a temperatura da água no fundo vai aumentando, a densidade dessa porção de água vai diminuindo, fazendo com que a porção de água acima, menos quente e mais densa, desça até o fundo, ao passo que a porção do fundo, mais quente e menos densa, suba em direção à interface água-ar.

Quando chega na parte superior, devido à dissipação de energia na forma de calor para o ar atmosférico em contato com a superfície da porção superior de água, a mesma se resfria um pouco, ficando mais densa, ao passo que a parte fria que havia descido, aquece e fica menos densa, iniciando assim um ciclo que dá origem a uma corrente de convecção térmica ascendente e descendente por onde o calor se propaga ao longo da água e aquecendo os alimentos, fornecendo energia aos mesmos para desencadear as reações químicas responsáveis pelo processo de cozimento, como a reação de Maillard e a termólise, por exemplo, que são fenômenos químicos.

Outro fenômeno físico mencionado e demonstrado aos educandos foi o da ebulição da água, que consiste na transição da fase líquida para a fase gasosa da água, e que, durante este processo, toda energia fornecida ao sistema termodinâmico em questão seria utilizada apenas para permitir essa transição, e não mais o aumento da temperatura.

Alguns dos educandos presentes acharam que mesmo durante a transição a temperatura continuaria aumentando, mas logo em seguida perceberam que os termômetros não registravam mais aumento algum durante a fervura da água, tanto com a panela de pressão aberta, quando com ela fechada e sua válvula reguladora em funcionamento, conforme ilustra a segunda e a terceira foto da Figura 71.

Na terceira foto a tampa da panela encontra-se firmemente fixada, porém sem sua válvula reguladora. Isso foi necessário para fazer com que o termômetro metálico de rosca,

instalado na tampa da panela, aferisse a temperatura de ebulição da água apenas sob pressão atmosférica local. Ou seja, sem pressão adicional devido à válvula.

Figura 72 – Aferição da temperatura de ebulição da água submetida a uma pressão interna superior à pressão atmosférica local.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Figura 72 ilustra os momentos de discussão e aferição da temperatura de ebulição da água quanto submetida à uma pressão interna equivalente à pressão atmosférica local mais a pressão exercida pelos vapores de água contra a válvula reguladora de pressão, no momento em que a mesma é erguida e o exêrço de vapor escapa pelos orifícios laterais da mesma. A partir deste momento, os educandos notaram que o ponteiro do termômetro metálico de rosca se elevou, registrando um valor cerca de 15 °C a mais do registrando para o ponto de fervura da água somente sob influência da pressão atmosférica local. Neste momento, o termômetro de rosca indicou 100 °C, enquanto que na aferição anterior, o mesmo indicou 85 °C para as temperaturas de ebulição da água. Porém, cada grupo fez suas observações e anotações dos valores indicados pelo termômetro nas duas situações segundo suas perspectivas de leituras. E isso refletiu na segunda parte da atividade, que consistia em criar uma relação de equivalência

entre as escalas dos dois termômetros e, a partir dela, estimar o valor da temperatura de ebulição da água dentro da panela de pressão se pudesse ser aferido com o termômetro capilar de álcool.

Foi discutido com os educandos sobre as transformações de energia presentes durante o processo de cozimento dos alimentos, como a energia térmica fornecida na forma de calor ao sistema termodinâmico (panela de pressão) ser convertida em energia térmica mecânica na forma de trabalho termodinâmico durante a expansão gasosa dos vapores no interior da panela de pressão e que escapam pela válvula reguladora de pressão, mantendo a temperatura e a pressão interna estabilizadas dentro da panela e um cozimento uniforme dos alimentos imersos na água em seu interior. A válvula ao ser erguida exerce um trabalho no ar, transferindo uma parte da energia interna do sistema (vapores) para o meio externo (ar). Apesar dessa energia dissipada na forma de trabalho termodinâmico ser uma energia perdida, ela é utilizada e essencial ao sistema pois é por meio dessa dissipação de energia que há estabilização da pressão interna da panela, evitando assim a explosão da panela.

A foto da Figura 73 ilustra o momento em que a válvula de controle de pressão estava executando um movimento rotacional em torno de um eixo vertical situado perpendicularmente ao plano do orifício de saída dos vapores no pino da tampa da panela de pressão. E isso foi explicado aos educandos que é devido ao surgimento de um torque não nulo sobre a mesma que é gerado por conta da assimetria de escape dos vapores que saem pelos quatro orifícios idênticos dispostos equidistantes na lateral da válvula reguladora de pressão.

Figura 73 – Discussão acerca do movimento rotacional da válvula reguladora de pressão.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Uma explicação teórica expositiva acerca desse movimento de rotação da válvula foi feita em sala de aula assim que foi concluída a etapa de experimentação no Laboratório de Ciências. Além do mais, uma nova explicação teórica do fenômeno da explosão, que pode acontecer com uma panela de pressão, foi novamente apresentada por meio de uma abordagem considerando o Princípio da Conservação da Energia e o Princípio da Conservação da Energia Mecânica.

Finalizada a experiência no Laboratório de Ciências, os educandos foram convidados para a segunda etapa das atividades deste dia, na sala de aula. A partir daí, já na sala de aula, os educandos se reuniram nos grupos pré-estabelecidos para realizarem a atividade teórica (Apêndice I) pautada nos resultados obtidos com os medidores de pressão e temperatura na panela de pressão, durante a experiência no Laboratório de Ciências. Essa atividade consistiu em obter matematicamente uma relação termométrica entre as escalas do termômetro capilar de álcool e o termômetro metálico de rosca, a partir dos dados obtidos por eles durante a realização prática da experiência com a panela de pressão, em que cada grupo obteve sua relação matemática e estimou um valor para a temperatura de ebulição da água dentro da panela de pressão durante o funcionamento pleno da válvula reguladora. Esse valor é um equivalente ao que seria marcado pelo termômetro capilar de álcool se o mesmo pudesse ser imerso na água no interior da panela nesse momento. Como não podia, restou apenas fazer essa relação termométrica, que apresentou resultados interessantes.

Figura 74 – Aula teórica expositiva de como obter a relação termométrica entre as escalas do termômetro capilar de álcool e do termômetro metálico de rosca.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Figura 75 – Equipe Grauçá executando a atividade de estimativa da temperatura de ebulição da água dentro da panela de pressão.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

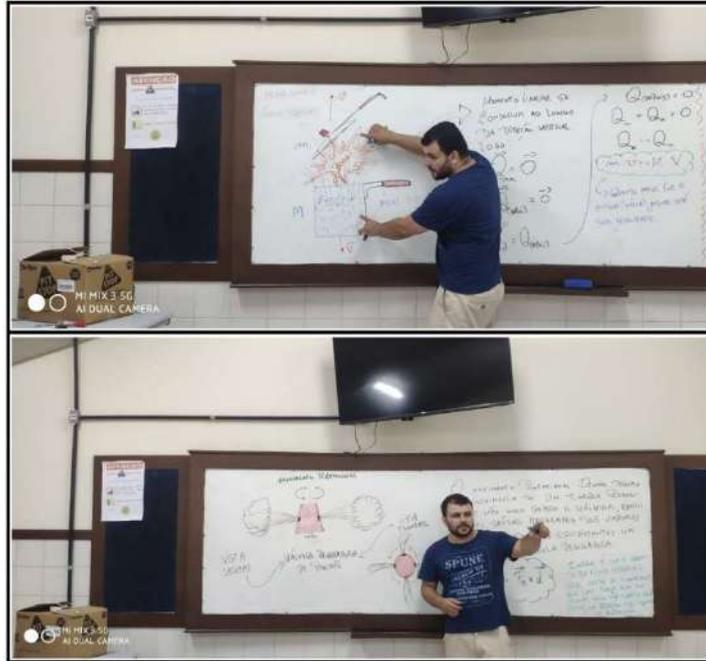
Caso queira ver os demais grupos realizando a atividade proposta, conforme Figura 75, acesse por meio do link <https://docs.google.com/document/d/1E8WmSmDWZGe9dtG8AqG-wbTtXdgNikcA/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>.

Figura 76 – Término da aula expositiva teórica sobre relação termométrica com a panela de pressão (foto superior) e panela de pressão (foto inferior).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Figura 77 – Momentos da segunda parte da aula expositiva sobre a explosão da panela de pressão, do ponto de vista da Conservação do Momento Linear (foto superior) e da aula sobre o movimento rotacional da válvula reguladora e sua relação com o torque gerado sobre ela devido às saídas dos vapores (foto inferior).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

No dia 01/11/2023, os educandos foram convidados até à Biblioteca da escola para assistirem a um vídeo em que Nunes (2017) realizou uma experiência extremamente similar à experiência realizada no Laboratório de Ciências nas aulas da semana anterior, conforme consta nas fotos da Figura 78.

Figura 78 – Momento em que os educandos assistiam ao vídeo da experiência com a panela de pressão adaptada de Nunes (2017).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Em sua experiência, Nunes (2017) faz uma adaptação na tampa de uma panela de pressão convencional para instalar instrumentos de medidas de pressão e temperatura. No entanto, os resultados obtidos por ele nessa experiência foram um pouco diferentes dos resultados obtidos na experiência realizada com os educandos no Laboratório de Ciências. Mas, apesar disto, o objetivo da experiência não foi afetado, visto que, mesmo com alguns erros de medição dos instrumentos de medidas, pôde-se proporcionar aos educandos uma visualização prática do aumento da temperatura da água à medida que a pressão interna da panela vai aumentando, até estabilizar em um determinado valor pré-estabelecido pelo fabricante da panela.

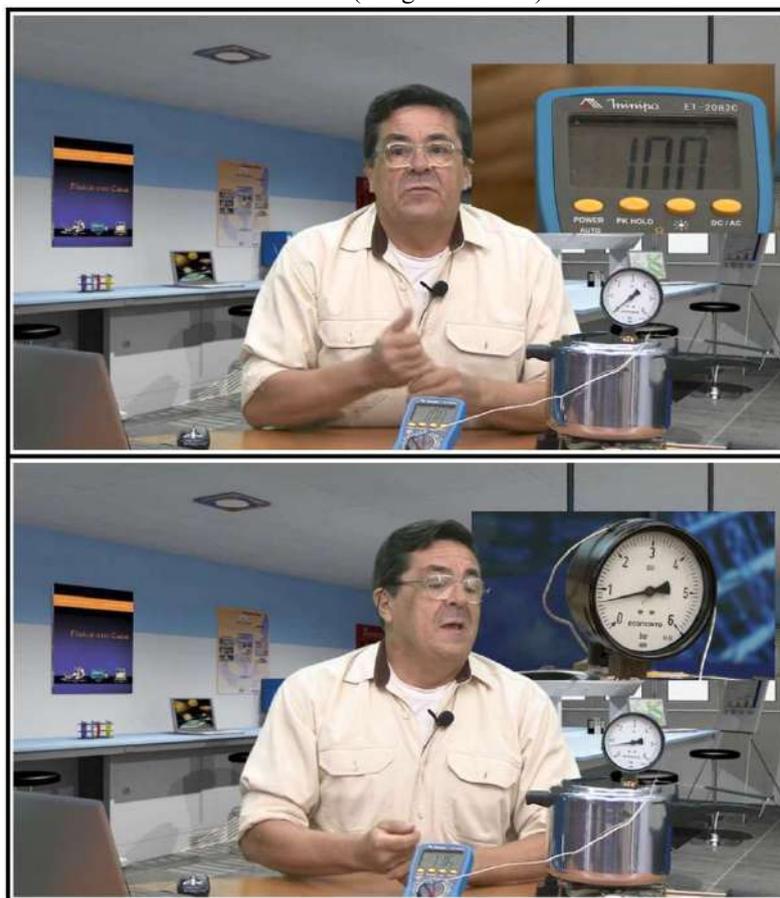
Enquanto que Nunes (2017), na cidade de São Carlos, SP, situada a cerca de 856 m acima do nível do mar, onde a realização da sua experiência ocorreu, os valores registrados para temperaturas de ebulição da água (100 °C para pressão atmosférica local e 116 °C para pressão interna de aproximadamente 1,70 atm) ficaram bem próximos aos encontrados na literatura acadêmica para a altitude em que estava sendo realizada sua experiência, conforme Figura 79, ao passo que os valores de temperaturas de ebulição da água obtidos na experiência feita durante a SD com a panela de pressão nas aulas anteriores no Laboratório de Ciências da escola, ficaram um pouco distantes (cerca de 87 °C para pressão atmosférica local e 100 °C para pressão interna de aproximadamente 1,68 atm). Essas diferenças nas temperaturas e pressão obtidas podem estar associada a erros dos instrumentos utilizados na panela de pressão adaptada.

Essa situação, já prevista anteriormente por meio de testes realizados e comparativos feitos com a experiência do vídeo, foi utilizado para criar uma atividade coletiva em grupos em que os educandos iriam responder a um questionário (Apêndice O) que versava sobre um comparativo entre as duas experiências, além de abordar sobre a questão epistemológica dentro da Ciência, enfatizando que o conhecimento científico é construído coletivamente com base em erros e acertos e que fatores como a técnica e observação de quem realiza a experiência e os instrumentos utilizados na experiência podem influenciar em resultados que não condizem perfeitamente com os resultados previstos, e que isso reflete que a Ciência não é um produto acabado totalmente exato.

No entanto, as atividades que envolvem análise de vídeos, sobretudo aqueles com mais tempo de exposição, como foi o caso do vídeo referenciado acima, que totaliza 17 minutos de exposição, pode apresentar-se enfadonho para muitos educandos, como se observou durante a aula. Experiências reais que exijam participação ativas deles, como foi o caso da experiência realizada no Laboratório de Ciências, mostrou-se mais atrativa, mesmo tendo mais do triplo do tempo da experiência feita por Nunes (2017) disposta no vídeo. Nas fotos pode-se notar alguns

educandos desinteressados, com cabeça baixa ou mexendo no celular. No entanto, alguns outros conseguiram se ater às explicações do professor Nunes (2017) ao longo de todo o vídeo.

Figura 79 – Momentos de ferveras da água a pressão ambiente (imagem superior) e a pressão superior à pressão ambiente (imagem inferior).



Fonte: Capturas de tela de trechos do vídeo de Nunes (2017). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=MQUzdOh8JHc&t=15s>.

4.6.3 Terceiro Momento Pedagógico: Aplicação do Conhecimento (Intervenção no Mundo)

No dia 08/11, durante a aula de Física, deu-se início em sala de aula o terceiro e último momento pedagógico: a aplicação do conhecimento. Este momento é extremamente crucial pois é por meio dele que o professor pode avaliar de forma geral o aprendizado dos educandos ao longo de toda a aplicação da SD.

A atividade proposta para este dia consistiu em assistir a um vídeo de propaganda recorrente nas redes sociais, como YouTube e Instagram. No vídeo, uma pessoa apresenta uma suposta panela de pressão feita de pedra sabão, “evidenciando” alguns benefícios da utilização da mesma durante o preparo dos alimentos, como, por exemplo, a informação de que a panela

de pressão de pedra não contém borracha de vedação e pode ser aberta a qualquer momento sem esforço durante o cozimento dos alimentos, sem que haja risco de explosão da mesma.

Na Figura 80 abaixo pode-se notar o momento em que os educandos assistem atentamente, apesar de alguns um pouco relapsos, ao vídeo da propaganda da tal “panela de pressão de pedra”.

Figura 80 – Momentos em que os educandos assistiam ao vídeo da propaganda panela de “pressão” de pedra.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

O objetivo de tal atividade era que os educandos, ao assistirem o vídeo da propaganda, pudessem identificar alguma falha no marketing dessa panela a partir dos conhecimentos físicos construídos ao longo das aulas anteriores, nos dois primeiros momentos pedagógicos. A partir daí, uma discussão crítica e reflexiva foi iniciada em sala de aula com os mesmos com o intuito primário de aguçar as competências e habilidades desenvolvidas de modo a tentar verificar a credibilidade da propaganda.

Durante a discussão, pôde-se notar alguns poucos alunos desconfiados da propaganda quanto ao cerne do marketing da mesma: o momento em que a mulher do vídeo afirmar que esse é um tipo de panela de pressão que pode ser aberta a qualquer momento durante o cozimento dos alimentos, sem o risco de explosão e sem esperar que a mesma reduza sua

pressão interior. No entanto, muitos outros educandos infelizmente não conseguiram perceber tal situação. Porém, o professor ajudou durante o diálogo, comentando cada ponto do vídeo que continha afirmações errôneas. E durante este momento, um dos alunos se atentou para o fato da suposta “válvula de controle de pressão” da panela de “pressão” de pedra não girar e sair vapor assim que a água começa a ferver em seu interior. Com isso, percebeu-se que a mesma não passava de uma espécie de “chaminé” na tampa.

Uma atividade foi iniciada ao fim da discussão em sala de modo que os educandos pudessem, em grupo, e utilizando conceitos da Física aprendidos em sala de aula, estimar matematicamente a partir de dados de uma panela de “pressão” de pedra idêntica à da propaganda do vídeo, qual deveria ser a massa da tampa da panela de “pressão” de pedra do vídeo (Figura 81), de modo a conseguir o mesmo efeito de pressão e temperatura de ebulição da água de uma panela de pressão comum, uma vez que a suposta válvula de controle de pressão localizada na tampa da panela de “pressão” de pedra é fixa e não contribui com seu peso para o aumento da pressão no interior da panela. Essa suposição se dá partindo do pressuposto que não escapa nenhum vapor pela “válvula”, ou seja, para que a pressão em seu interior aumente com o acúmulo do vapor de água no interior da panela. O roteiro da atividade associada ao vídeo encontra-se no Apêndice J.

Figura 81 – Momentos em que os educandos realizavam os cálculos estimativos da tampa da panela de “pressão” de pedra.

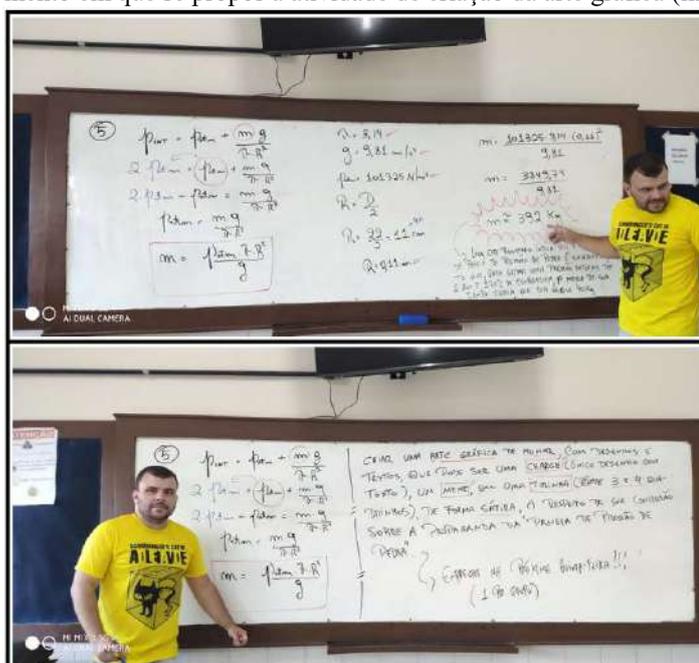


Fonte: Dados da pesquisa (2024).

O que os educandos perceberam ao pesquisarem esses comerciais nas redes sociais durante a aula, por meio de seus dispositivos smartphones, foi que muitas pessoas comentam essas propagandas crédulas de que realmente se trata de uma panela de pressão de pedra que cumpre todos os requisitos afirmados no vídeo pelos vendedores. No entanto, essas pessoas são leigas quanto aos conceitos e fenômenos físicos e por isso acabam caindo em golpe, pagando caro (cerca de R\$ 350,00) por uma unidade de tamanho mediano. O conhecimento salva, liberta e permite-nos tomarmos melhores decisões na vida! E os educandos perceberam isso.

No dia 09/11, os educandos se apresentaram para a realização de uma atividade muito interessante, proposta pelo professor em sala de aula. Tal atividade consistia em cada um dos grupos de estudos colaborativos **criar uma arte gráfica sátira**, com desenhos e textos, que poderia ser uma **charge** (desenho único com textos), um **meme** ou uma **tirinha** (pequeno trecho de uma história em quadrinhos, entre 3 e 4 quadrinhos), a respeito da conclusão que os mesmos tiveram sobre a propaganda da panela de “pressão” de pedra. Optou-se por dar liberdade criativa e poética aos mesmos, além de poder criar a arte gráfica de forma real, feita à mão em papel, ou digital por meio de programas computacionais, com desenhos simplistas ou mais sofisticados. Essa foi uma das atividades que, de modo geral, eles mais gostaram de realizar. No entanto, parte do primeiro horário foi utilizada para realizar uma abordagem expositiva no quadro sobre a estimativa da massa da tampa da panela de “pressão” de pedra referente a atividade do dia anterior, conforme Figura 82.

Figura 82 – Aula expositiva sobre a estimativa da massa da tampa da panela de “pressão” de pedra (imagem superior) e momento em que se propôs a atividade de criação da arte gráfica (imagem inferior).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Abaixo tem-se a imagem de um dos grupos finalizando a atividade proposta. Um dos educandos (o que está apontando os dedos das duas mãos para a atividade) possui habilidades lógico-matemáticas bem desenvolvidas desde quando era estudante do EF, o que ajudou significativamente na rápida execução da atividade proposta, a partir do roteiro presente na folha da atividade. Já o educando que na imagem está escrevendo sobre a folha, utiliza de sua habilidade mais voltada para as linguagens em prol da escrita de uma interpretação para o resultado apontado pelos cálculos matemáticos.

Figura 83 – Momento em que os educandos do grupo Carnaval finalizavam a atividade de estimativa da massa da tampa da panela de “pressão” de pedra.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

No dia 16/11, os educandos, divididos em seus respectivos grupos, realizaram uma atividade teórica (Apêndice N) que englobava os principais conceitos e fenômenos físicos trabalhados ao longo de toda a SD. Trata-se de uma atividade muito conceitual cujo objetivo era obter resultados que apontassem falhas e êxitos na aprendizagem dos educandos.

Figura 84 – Momento em que os educandos de quatro grupos distintos finalizavam a atividade do Apêndice N.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

No dia 22/11, os educandos realizaram uma outra atividade teórica (Apêndice K), mas esta era associada ao fenômeno físico de explosão da panela de pressão, além de conceitos e fenômenos físicos voltados para a compreensão do cozimento dos alimentos dentro da panela de pressão, como transferências e transformações de energias envolvidas, as transições de fases presentes e a relação entre a pressão interna e a temperatura de ebulição da água com o tempo de cozimento dos alimentos.

No dia 23/11, os educandos, de forma individual e não mais em grupos (Figura 85), fizeram uma avaliação diagnóstica final contendo questões objetivas de vestibulares e ENEM que abordavam os fenômenos físicos associados ao uso da panela de pressão durante o preparo dos alimentos. A atividade pode ser visualizada no Apêndice Q. Como um dos objetivos principais do CPC é orientar os educandos para a formação superior e prepara-los para as o ingresso em cursos de formação superior, optou-se por realizar um teste para ter uma noção da evolução da aprendizagem dos educandos frente aos exames teóricos.

Figura 85 – Momento em que os educandos realizavam a avaliação diagnóstica final contendo questões voltadas para vestibulares, ENEM e OBF.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

No dia 29/11, os educandos fizeram uma avaliação final (Apêndice M) em grupos. Essa avaliação consistia em fornecer uma imagem para que os mesmos, coletivamente, pudessem fazer a leitura minuciosa da imagem e interpretá-la, escrevendo com palavras próprias o entendimento de tal imagem, baseado em conceitos e fenômenos físicos construídos ao longo da SD. Trata-se de uma atividade avaliativa extremamente interessante para se utilizar com os educandos, pois vai além da mera resolução de exercícios teóricos matemáticos.

Por fim, nas aulas do dia 30/11/2023, foi construído um mapa conceitual coletivo junto aos educandos, conforme Figura 86.

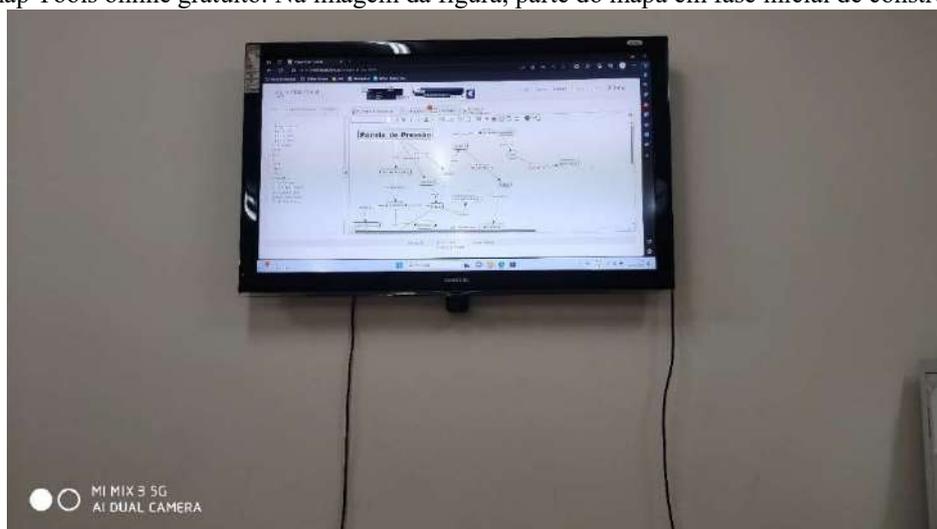
Figura 86 – Momento em que os educandos realizavam coletivamente na biblioteca da escola a identificação e catalogação de palavras-chave para montar o mapa conceitual coletivo.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A Figura 87 ilustra uma parte do momento do processo de construção coletiva do mapa conceitual a respeito da panela de pressão, suas fenomenologias e demais considerações.

Figura 87 – Momento de criação conjunta do mapa conceitual coletivo com a turma. Foi utilizado o software Cmap Tools online gratuito. Na imagem da figura, parte do mapa em fase inicial de construção.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Por fim, os educandos foram orientados a fornecerem um feedback pedagógico (Apêndice R) das atividades desenvolvidas ao longo de toda SD.

Esse feedback se deu por meio de um formulário online (Google Forms) disponibilizado aos mesmos por meio de um link de acesso direto, ao qual os educandos acessaram e responderam por meio de seus dispositivos celulares rapidamente, fornecendo percepções latentes e emergentes a respeito da SD, comentando quais atividades mais gostaram, quais menos gostaram e se gostaria de ver algum tipo de abordagem específica com mais frequência nas aulas de Física, entre outras.

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 AVALIAÇÕES DIAGNÓSTICAS

O Quadro 7 contém algumas transcrições de respostas de alguns educandos com relação a algumas questões específicas das avaliações diagnósticas coletiva.

Quadro 7 – Transcrições de respostas dos educandos da avaliação diagnóstica coletiva.

Perguntas	Resposta
1) Por que os alimentos cozinham mais rápido na panela de pressão do que numa panela comum?	<p>Equipe Abrolhos: “Por conta que a panela de pressão mantém o vapor circulando lá dentro”</p> <p>Equipe Iemanjá: “Por que não tem por onde o ar escapar, como em uma panela comum [...]”</p> <p>Equipe Quitongo: “porque quando a panela pega pressão, aumentando a temperatura da água fazendo o cozimento ser mais rápido que uma panela comum”</p> <p>Equipe Carnaval: “Porque a pressão aumenta a velocidade do cozimento, aumentando o calor (temperatura) da água”</p>
2) Existem riscos associados ao uso da panela de pressão? E benefícios? Se sim, quais são e por quê?	<p>Equipe Abrolhos: “Existem riscos sim, entre eles o risco da panela explodir pode ser causada por não ter fechado a tampa direito e outras questões. O benefício mais conhecido é do tempo de cozimento ser mais rápido [...]”</p> <p>Equipe Jubarte: “Sim, existe risco, como por exemplo ela pode explodir. Os benefícios são que os alimentos cozinham mais rápido”</p> <p>Equipe Iemanjá: “Sim. Sim. Os benefícios são, o cozimento é rápido gastando menos gás”</p>
3) É importante cozinhar os alimentos antes de consumi-los? Se sim, diga o porquê disso.	<p>Equipe Abrolhos: “Sim é muito importante, além de ficar muito gostoso, ao cozinhar os alimentos elimina muitas bactérias prejudiciais à saúde”</p> <p>Equipe Jubarte: “Sim, porque os alimentos cru podem ter doenças”</p> <p>Equipe Gameleira: “Sim. Pois pode causar muitas doenças, Ex: ovo cru da salmonela”</p>
4) Quais são as condições que fazem alimento cru ficar cozido?	<p>Equipe Iemanjá: “A temperatura (calor)”</p> <p>Equipe Quitongo: “Os alimentos são cozidos pelo calor, seja o produzido diretamente pelo fogo, por uma resistência elétrica ou pelo micro-ondas”</p>
5) Acidentes envolvendo o uso da panela de pressão são comuns? Eles podem ser fatais? Comente sobre isso.	<p>Equipe Abrolhos: “São sim e pode ser sim fatal. Pode causar queimaduras graves levando a morte”</p> <p>Equipe Iemanjá: “Sim. Fatais não, mas muito grave”</p> <p>Equipe Gameleira: “Sim. Sim. Uma panela de pressão com muita pressão concentrada pode ocasionar a uma explosão”</p>

	Equipe Grauçá: “Acho que não são comuns. Mais pode ser fatais sim. Pode explodir e causar a morte de uma pessoa” Equipe Carnaval: “Não é tão comum os acidentes, mas podem sim ser fatais”
6) Quais medidas preventivas devemos tomar afim de minimizar os riscos de acidentes domésticos durante o cozimento dos alimentos na panela de pressão?	Equipe Jubarte: “A pressão deve estar proporcional à temperatura” Equipe Iemanjá: “Verificar se a panela está fechada corretamente” Equipe Atobá: “Estar atento no horário do cozimento do alimento e analisar a panela antes de utilizar”

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Após analisar os dados obtidos das duas “*avaliações diagnósticas*” (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022), tanto a individual quanto a coletiva, é possível observar que a maioria dos educandos possui alguma experiência culinária, e alguns até mesmo manipularam a panela de pressão no preparo de alguns alimentos. Contudo, constatou-se que os mesmos desconheciam como esse utensílio doméstico possibilita uma maior celeridade no processo de cozimento dos alimentos, além de não estarem cientes das causas de possíveis explosões, bem como as medidas preventivas associadas ao uso seguro e consciente da panela de pressão.

De forma automática, a grande maioria dos educandos relaciona a panela de pressão quando questionados sobre os acidentes domésticos que ocorrem exclusivamente na cozinha, sendo esse um dos primeiros utensílios domésticos culinários que eles responderam. Alguns educandos relataram já terem testemunhado situações de explosão em suas residências ou de parentes, enquanto outros falaram que conhecem pessoas que passaram por isso. No entanto, a maioria deles relataram nunca ter vivenciado algo do tipo ou que conhecesse alguém que já vivenciou.

Muitos educandos afirmam ter visto pessoas, como mãe, avó etc., colocando a panela de pressão recentemente retirada do fogo sob a torneira da pia, sem compreenderem a razão disso e as possíveis consequências desse ato. Alguns chegaram a responder que isso resfria a panela, facilitando sua abertura mais rápido para verificação do conteúdo. Outros disseram nunca ter visto isso ou sequer que sabiam que isso era feito comumente por muitas pessoas que não conseguem esperar a panela perder pressão naturalmente.

A maior parte dos educandos considera fatores como o "calor do fogo", o "vapor aprisionado circulando" ou a "temperatura da panela" como influenciadores do processo de cozimento na panela de pressão. No entanto, em relação aos riscos associados, os mesmos têm noção da possibilidade de ocorrência do fenômeno físico da explosão, mas carecem de

entendimento científico sobre como ocorre esse fenômeno e das medidas preventivas para evitá-lo, proporcionando um manuseio consciente e seguro desse utensílio doméstico.

Quanto aos benefícios, associam principalmente à rapidez no cozimento dos alimentos, e alguns poucos mencionam a economia de gás de cozinha. Alguns vinculam o "calor" ao fato de um alimento cru se transformar em algo cozido. Embora reconheçam a importância do processo de cozimento para a saúde humana, falta compreensão sobre como a pressão adicional acelera o cozimento.

Logo, os educandos demonstraram um conhecimento superficial intuitivo (saberes prévios) sobre o uso da panela de pressão, revelando lapsos significativos em relação aos “aspectos técnicos” (Bazin, 1977a), riscos associados e medidas preventivas, o que destaca a necessidade de uma abordagem educativa mais abrangente e esclarecedora. No entanto, houve uma confusão conceitual por parte dos educandos nessas avaliações diagnósticas, que é muito comum de se ver no EM, que é a concepção prévia que eles têm de que “calor”, “temperatura” e “energia térmica” são a mesma coisa. Isso representa um “*Obstáculo Epistemológico*” (Bachelard, 1996) que deve ser destruído, por meio de uma “*Ruptura Epistemológica*” (Bachelard, 1991), para que novos conhecimentos científicos sejam reestruturados de forma significativa, promovendo uma aprendizagem dos conceitos e fenômenos físicos, além da “*Alfabetização Técnica*” promovida por Bazin (1977a), associados às fenomenologias ocorridas durante o processo de cozimento dos alimentos na panela de pressão, bem como ao manuseio consciente e seguro (Martins, 2013; Babini, 2021a; 2021b; Cerdeira, 2015) desse utensílio doméstico, utilizando-o como “*Equipamento Gerador*” (Bastos, 1990; Neves; Auth, 2023; José; Darlon, 2022) para criar contextos que possibilitem tais abordagens e discussões de forma ativa e centrada nos educandos (Pernambuco, 1981; Delizoicov, 1983; José; Darlon, 2022; Bastos, 1990; 1995; Solino; Gehlem, 2015).

5.2 ATIVIDADE COLETIVA DE SÍNTESE DOS VÍDEOS ASSOCIADOS À INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NO TEMPO DE COZIMENTO DOS ALIMENTOS E AOS ACIDENTES DOMÉSTICOS COM A PANELA DE PRESSÃO

Ao analisar os textos dos grupos, pode-se notar uma melhor compreensão dos educandos quanto às medidas preventivas associadas ao manuseio correto e seguro da panela de pressão (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022). Isso evidencia o caráter formador técnico promovido por Bazin (1977a) e reforçado por Bastos (1990), José e Darlon (2022) e Neves e Auth (2023). Por outro viés, argumentos mais

consistentes podem ser percebidos quanto à explicação do porquê os alimentos são cozidos mais rapidamente na panela de pressão do que numa panela comum. Isso reflete o caráter formador científico promovido por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2021), no qual os educandos conseguiram abstrair significados dos conceitos e fenômenos físicos estudados e apresentados no vídeo de Locatelli (2019). A Figura 88 ilustra o texto digitalizado feito em conjunto pelos educandos da equipe Jubarte.

Figura 88 – Síntese dos educandos do grupo 3 (equipe Jubarte) acerca dos vídeos sobre a influência que a pressão tem no tempo de cozimento dos alimentos e dos vídeos sobre a segurança com a panela de pressão.

4 Síntese

Após assistir os vídeos foi possível chegar em algumas conclusões, como que a pressão influencia diretamente no ponto de ebulição da água. Também foi possível compreender que quanto menor a pressão menor é também a temperatura de transição de fases (estado). Além disso, foi explicado a forma correta de se usar a panela de pressão, explicando seus mecanismos e a importância da manutenção dos mesmos e seguir a dica os cuidados e orientações, por exemplo, coletar a quantidade de água correta. Em um dos vídeos foi analisado o padrão da explosão da panela de pressão, sendo que a pressão empurrou a panela para baixo enquanto a tampa foi para cima. A panela em questão é uma das maiores causas de acidentes domésticos (na cozinha). Muitas pessoas já foram vítimas, sendo que infelizmente algumas vão a óbito. Diante disso, é fundamental verificar o estado da panela, se é necessário alguma manutenção e seguir corretamente a forma correta de manuseá-la. Muitas das vezes a causa da explosão da panela de pressão pode ser por conta da válvula entupida, borracha ressecada ou quando acelera o processo de sair a pressão.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Essa atividade textual possibilitou aos educandos refletirem mais profundamente sobre os vídeos assistidos, discutindo entre eles pontos e percepções relevantes que foram cruciais para a construção da redação técnica-científica em forma de síntese (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022). Os mesmos conseguiram extrair significados interessantes, cada um com suas percepções, a respeito dos fenômenos físicos que influenciam o cozimento dos alimentos mais rápido e que são bem explicados por Silveira (2010; 2015; 2020) em sua página na Web, bem como das situações de cautela quanto ao manuseio da panela de pressão que são abordados por Babini (2021a; 2021b), e Martins (2013).

Caso queria ver as sínteses de todos os grupos digitalizadas, acesse com seu dispositivo celular o QR Code abaixo ou então por meio do Link https://drive.google.com/file/d/1vyoISbI2pKqpqeo7Ff_qVHV_MWoFar80/view?usp=sharing.



5.3 ATIVIDADE DE ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE EBULIÇÃO DA ÁGUA NA PAINEL DE PRESSÃO REAL POR MEIO DA EQUAÇÃO DE CLAUSIUS-CLAPEYRON

A pressão interna da panela de pressão utilizada foi prevista teoricamente a partir do peso de sua válvula e da área de saída dos vapores pelo pino central da tampa da panela, conforme consta em Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (2015) e Barreto (2009). Para isso, utilizou-se a balança de precisão para aferir a massa da válvula reguladora de pressão. O valor médio, \bar{m} , encontrado foi de 43,88 g. Utilizou-se também o paquímetro digital para medir o diâmetro interno do orifício de saída de vapor do pino central da tampa da panela, ao qual foi encontrado o valor médio, \bar{d} , de 2,28 mm, resultando em um raio médio, \bar{r} , de 1,14 mm. As medições de massa e diâmetro foram feitas cinco vezes de modo a reduzir o erro associado às medições, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Medidas de massa da válvula reguladora de pressão e diâmetro interno do orifício de saída dos vapores do pino da tampa da panela de pressão.

Massa (m)	Diâmetro (d)
43,9 g	2,2 mm
43,8 g	2,3 mm
43,8 g	2,3 mm
44,0 g	2,2 mm
43,9 g	2,4 mm
$\bar{m} = 43,88 \text{ g}$	$\bar{d} = 2,28 \text{ mm}$

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Considerando $\pi = 3,14$ e $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, e os valores médios, \bar{m} e $\bar{d}/2$, respectivamente para a massa da válvula reguladora de pressão e o raio do orifício de saída dos vapores pelo

pino central da tampa da panela, dados da Tabela 4, a pressão prevista para a contribuição da válvula reguladora é obtida por meio da resolução da Eq. (97):

$$p_{int} = p_{atm} + \frac{m g}{\pi r^2}$$

Substituindo os respectivos valores em unidades do S.I., temos:

$$p_{int} = 101.325 + \frac{43,88 \times 10^{-3} \times 9,81}{3,14 \times (1,14 \times 10^{-3})^2}$$

Resolvendo, temos:

$$p_{int} = 206.829,90 Pa$$

Ou, convertendo de Pa para atm, temos:

$$p_{int} \cong 2,04 atm$$

Este valor previsto é muito próximo do valor 2,00 atm, amplamente encontrado na literatura científica para uma temperatura de ebulição da água de 120 °C ao nível do mar (Silveira, 2013). E conforme a Tabela 2, para uma pressão atmosférica de 2,04 atm, o valor de temperatura de ebulição da água estaria entre de **121** °C.

No entanto, outra forma de estimar a temperatura de ebulição da água dentro da panela de pressão real é a partir do resultado de pressão de vapor obtido anteriormente, por meio da utilização da Eq. (60) de Clausius-Clapeyron, conforme abaixo (Braga, 2013, p. 9):

$$\ln\left(\frac{p}{p_0}\right) = -\frac{\Delta h_{vap}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)$$

Substituindo os respectivos valores, temos:

$$\ln\left(\frac{2,04}{1,00}\right) = -\frac{40.687,92}{8,31} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{373,15}\right)$$

Resolvendo, temos:

$$T = 394,72 \text{ K}$$

Ou, convertendo de K para °C, temos:

$$T \cong 121,57 \text{ °C}$$

Abaixo tem-se as tabelas que contêm os valores de pressão (Tabela 5) e temperaturas (Tabela 6) encontrados por cada grupo, respectivamente, em comparação com os resultados esperados obtidos pelo professor. Esses resultados foram obtidos por meio do roteiro de atividades disposto do Apêndice H.

Tabela 5 – Valores de estimativa da pressão interna dentro da panela de pressão ao nível do mar.

Valor referência (Silveira, 2013)	Resultado obtido (professor)	Equipes	Resultado obtido (por equipe)
2,00 atm	2,04 atm	Atobá	2,23 atm
		Grauçá	1,13 atm
		Gameleira	Não conseguiu
		Jubarte	2,06 atm
		Iemanjá	2,14 atm
		Quitongo	1,28 atm
		Carnaval	1,14 atm
		Abrolhos	1,23 atm

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos da pesquisa.

Tabela 6 – Valores de estimativa da temperatura de ebulição da água dentro da panela de pressão ao nível do mar, a partir da resolução da equação de Clausius-Clapeyron.

Valor referência (Silveira, 2013)	Resultado obtido (professor)	Equipes	Resultado obtido (por equipe)
120,00 °C	121,57 °C	Atobá	125,73 °C
		Grauçá	Não conseguiu
		Gameleira	Não conseguiu
		Jubarte	123,20 °C
		Iemanjá	Não conseguiu
		Quitongo	108,58 °C
		Carnaval	115,90 °C
		Abrolhos	107,39 °C

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos da pesquisa.

Comparando os resultados presentes na literatura e apresentados por Silveira (2013), o *erro percentual* associado à pressão interna da panela de pressão ao nível do mar (Tabela 5) foi 2,00 % (*erro absoluto* de 0,04 atm), enquanto o *erro percentual* à temperatura de ebulição da

água no interior da panela de pressão ao nível do mar (Tabela 6) foi de 1,31 % (*erro absoluto* de 1,57 °C) para mais ou para menos.

Apesar de ter algumas divergências nos resultados obtidos pelos grupos, os procedimentos metodológicos que os mesmos empregaram em suas resoluções foram o mesmo, que foi montar uma relação termométrica entre as temperaturas da escala do termômetro de rosca e do termômetro capilar de álcool, obtidas experimentalmente. No entanto, essas pequenas divergências se devem às leituras que cada grupo fez durante as medições. Ou seja, os grupos tiveram percepções distintas de leitura dos termômetros e isso resultou em alterações no resultado final.

Além disso, as medições referentes ao valor do diâmetro interno de saída de vapor do pino da tampa da panela de pressão, ao qual fica posicionada a válvula reguladora de pressão, tiveram leituras com uma margem de erro um pouco maior, obtendo valores menores para o raio desse orifício do que o obtido pela leitura do professor. E isso interferiu em alguns resultados um pouco acima do valor obtido pelo professor, tanto para a pressão interna na panela de pressão, quanto para a temperatura de ebulição da água em seu interior, conforme pode ser visto nas Tabela 5 e Tabela 6, respectivamente.

Contudo, as abordagens de resoluções empregadas pelos grupos que conseguiram concluir a atividade de forma integral, ou para alguns que conseguiram realizar essa atividade de forma parcial, bem como as operações matemáticas realizadas por eles, estavam coerentes, demonstrando um bom aprendizado nesse assunto após a aula expositiva abordando a equação de Clausius-Clapeyron (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022). Um dos grupos (equipe Iemanjá) que não conseguiram encontrar a temperatura por meio da equação de Clausius-Clapeyron se mostrou empenhado e conseguiu ao menos estimar de forma correta o valor da pressão de vapor devido ao peso da válvula reguladora de pressão da panela, conforme Tabela 5. Os outros grupos que encontraram um valor para pressão inferior a 2,04 atm foi devido ao fato deles esquecerem de somar a pressão de vapor devido à válvula reguladora de pressão, com a pressão atmosférica local, levando, conseqüentemente, a um valor errôneo de temperatura de ebulição da água via equação de Clausius-Clapeyron. Abaixo, tem-se Figura 90 contendo a resolução matemática da questão 5, com resultado, interpretação e considerações do mesmo por um dos grupos participantes.

Figura 89 – Resposta do grupo 3 (equipe Jubarte).

Jubarte

$44,2 \text{ g} = \frac{44,2}{1000} = 0,0442 \text{ kg}$
 $44,2 \text{ g} = 44,2 \text{ g}$
 $44,2 \text{ g} = 44,2 \text{ g}$
 $44,2 \text{ g} = 44,2 \text{ g}$
 $44,2 \text{ g} = 44,2 \text{ g}$

$2,1 \text{ mm}$
 $2,3 \text{ mm}$
 $2,5 \text{ mm} = 2,26 \text{ mm}$
 $2,5 \text{ mm} = 1000 \cdot 0,00226 \text{ m}$
 $2,3 \text{ mm}$

$p = 101325 + \frac{44,2 \cdot 10^{-3} \cdot 9,74}{3,14 \cdot (2,13 \cdot 10^{-3})^2}$
 $p = 101325 + \frac{442 \cdot 10^{-3}}{3,36 \cdot 10^{-6}} = 101325 + 102,144 \cdot 10^3 = 203469 \text{ Pa}$
 $p = \frac{203469}{101325} = 2,06 \text{ atm}$

$\ln\left(\frac{p}{p_0}\right) = \frac{-\Delta h \cdot \rho}{R} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)$
 $\ln\left(\frac{2,06}{1}\right) = \frac{-40687,92}{8,31} \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{373,15}\right)$
 $0,72 = -4896,26 \cdot \left(\frac{1}{T} - 0,0026\right)$
 $0,72 = 0,0026 - \frac{1}{T} \Rightarrow 0,00147 - 0,0026 = -\frac{1}{T}$
 $-0,00113 = -\frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{0,00113} \Rightarrow T = 885,84$

$T = 38,815 = 273,15$
 $T = 103,20$

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

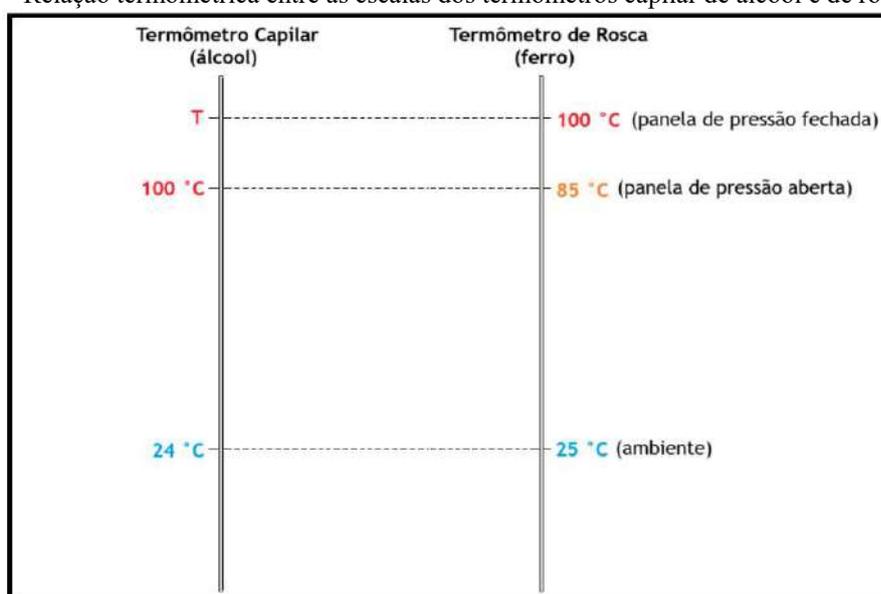
Caso queira ver as resoluções de todos os grupos digitalizadas, acesse com seu dispositivo celular o QR Code abaixo ou então por meio do Link <https://docs.google.com/document/d/1YLI6-vALSK8201k8KKmPCSRdtlkGPxms/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtf=true&sd=true>.



5.4 ATIVIDADE DE ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE EBULIÇÃO DA ÁGUA NA PAINELA DE PRESSÃO REAL POR MEIO DA RELAÇÃO TERMOMÉTRICA ENTRE OS TERMÔMETROS CAPILAR E DE ROSCA

Os resultados obtidos com os termômetros vertical de rosca (metal) e capilar de vidro (álcool) apresentaram uma certa divergência nas medições de temperatura de ebulição da água durante a atividade com a panela de pressão aberta, assim como para registros da temperatura ambiente. O termômetro de vidro se mostrou mais preciso e eficiente do que o termômetro de rosca, uma vez que seus registros se mostraram extremamente próximos aos registrado constantes na literatura acadêmica. Além disso, o valor da temperatura ambiente, segundo aplicativo meteorológico do aparelho celular, estava em 24 °C, sendo este valor o registrado também pelo termômetro capilar. No entanto, o termômetro de rosca registrou um valor de 25 °C. Já na situação de fervura da água, com a panela de pressão destampada, o termômetro capilar de vidro registrou 100 °C, enquanto que o termômetro de rosca registrou 85 °C. Com isso, fez-se uma relação entre as duas escalas dos termômetros de rosca e capilar de vidro, conforme imagem representada pela Figura 91 abaixo:

Figura 90 – Relação termométrica entre as escalas dos termômetros capilar de álcool e de rosca em ferro.



Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

Essa relação termométrica foi utilizada para se estimar a temperatura de fervura da água quando a panela de pressão estiver fechada, sob pressão interna maior do que quando aberta. Devido ao fato de não conseguir fazer essa medição com o termômetro capilar de vidro, a relação proporciona uma estimativa de quantos °C de temperatura na escala do termômetro de

vidro capilar equivale ao registrado pelo termômetro de rosca. Como o termômetro de rosca registrou um valor de 100 °C durante a ebulição da água com a panela de pressão fechada, a seguinte relação foi feita entre as escalas de ambos os termômetros a partir da Eq. (9):

$$\frac{T - 24}{100 - 24} = \frac{100 - 25}{85 - 25}$$

Resolvendo algebricamente a igualdade, obtemos o seguinte valor estimado de temperatura de ebulição da água durante a fervura da mesma dentro da panela de pressão fechada:

$$T = 119,00 \text{ °C}$$

Esse valor apresenta uma margem de *erro percentual* de 0,83 % em relação ao valor apresentado por Silveira (2013), gerando uma margem de *erro absoluto* de 1 °C para mais ou para menos em comparação ao valor da literatura (Tabela 2 e Tabela 7). Portanto, os valores **119,00 °C**, **121,00 °C** (Tabela 2) e **121,57 °C** (Tabela 6) tratam-se de estimativas muito próximas do valor real de 120 °C presente na literatura científica (Silveira, 2013) e que se apresentam muito satisfatórios, apesar das limitações impostas pelo instrumental utilizado, como termômetro de rosca e manômetro instalados na tampa da panela de pressão com uma precisão baixa, conforme pode ser observado na Figura 72 e Figura 91. No entanto, apesar de normalmente o valor de 120 °C ao nível do mar ser atribuído à temperatura de ebulição da água no interior de uma panela de pressão, o valor verdadeiro dessa temperatura irá depender do peso da válvula reguladora de pressão. Logo, quanto maior a massa da válvula, maior será a pressão interna.

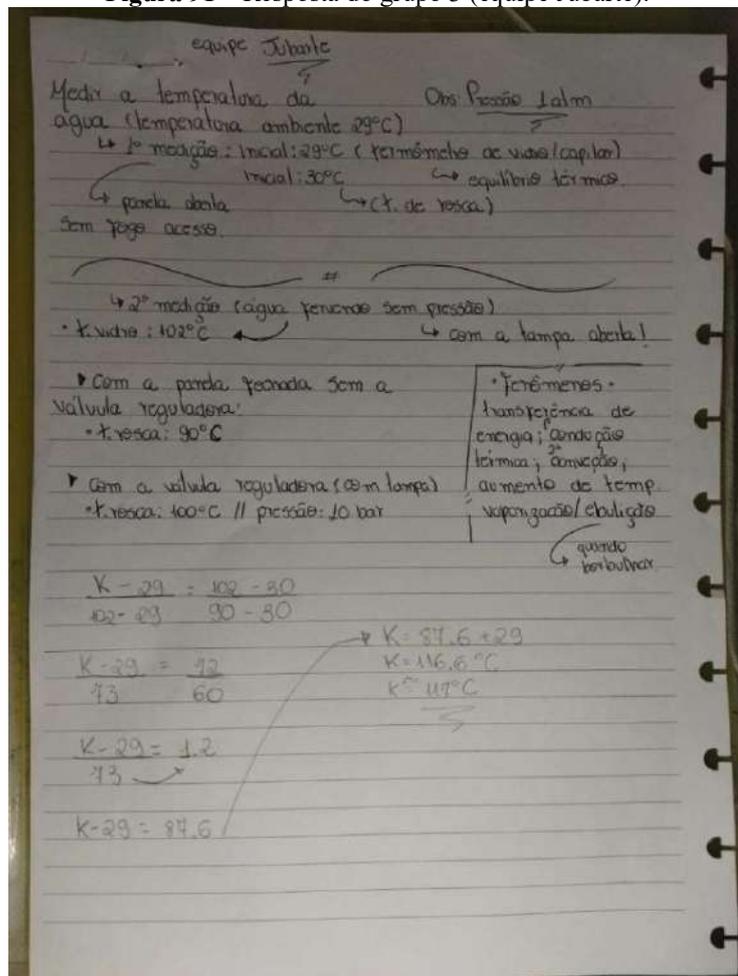
Tabela 7 – Valores de estimativa da temperatura de ebulição da água dentro da panela de pressão adaptada, a partir da relação termométrica entre as medições do termômetro de rosca com as medições feitas utilizando o termômetro capilar de álcool.

Valor referência (Silveira, 2013)	Resultado obtido (professor)	Equipes	Resultado obtido (por equipe)
120 °C	119 °C	Atobá	120,30 °C
		Grauçá	117,63 °C
		Gameleira	104,19 °C
		Jubarte	116,60 °C
		Iemanjá	112,36 °C
		Quitongo	118,00 °C
		Carnaval	116,21 °C
		Abrolhos	120,30 °C

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos da pesquisa.

Essa experiência prática demonstrou que a temperatura de ebulição da água aumenta conforme a pressão interna cresce, gerando discussões empolgantes e resultados satisfatórios. A Tabela 7 compara os valores de temperatura encontrados por cada grupo com os resultados obtido pelo professor a partir de medidas experimentais e o resultado da literatura obtido teoricamente por Silveira (2013). Embora tenham ocorrido divergências nos resultados, todos os grupos seguiram o mesmo procedimento metodológico, estabelecendo uma relação termométrica entre as temperaturas do termômetro de rosca e do termômetro capilar de álcool. Essas variações se devem às diferentes leituras realizadas pelos grupos, resultando em pequenas alterações nos resultados finais. No entanto, as abordagens e operações matemáticas empregadas foram coerentes, indicando um bom aprendizado sobre escalas e relações termométricas após a aula teórica (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022). A Figura 92 a seguir apresenta a resolução matemática da questão 5, com o resultado e considerações feitas por um dos grupos, além de anotações feitas durante a aula prática com a panela de pressão adaptada.

Figura 91 – Resposta do grupo 3 (equipe Jubarte).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Caso queira ver as resoluções de todos os grupos digitalizadas, acesse com seu dispositivo celular o QR Code abaixo ou então por meio do Link https://docs.google.com/document/d/1gJGjSr_0JOq_PseznlZeSXHmi-8IdPp-/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true.



5.5 ATIVIDADE DE ANÁLISE DA VÍDEO-PROPAGANDA SOBRE A “PANELA DE PRESSÃO DE PEDRA” E PRODUÇÃO DAS ARTES GRÁFICAS SÁTIRAS

Nas redes sociais da internet, veicula-se constantemente uma propaganda sobre uma “panela de pressão feita de pedra sabão”. No entanto, trata-se de uma propaganda enganosa para obter vendas de forma mais rápida. E como se sabe que é uma propaganda enganosa? Justamente pelo fato dessa panela não ter uma borracha para vedar a junção da tampa com o corpo da panela. Além disto, o fato de a “válvula reguladora de pressão” ser apenas estética e não funcional, reforça a tese de que este tipo de panela não pode gerar uma pressão equivalente a uma panela de pressão comum.

A análise dessas propagandas revelou que sempre é mencionado que este tipo de panela tem muito mais benefícios do que a panela de pressão comum, como por exemplo:

- ✓ Poder remover sua tampa a qualquer momento durante o cozimento, sem risco de explosão;
- ✓ Tempo de cozimento menor do que em uma panela de pressão comum;
- ✓ Fornecer nutrientes vitais aos alimentos como ferro, zinco, cálcio e magnésio, pelo fato da panela ser feita de pedra sabão;
- ✓ Conduzir o calor de forma mais eficaz e homogênea;
- ✓ Ser mais “bonita”.

De fato, os dois únicos aspectos realmente verdadeiros são dois últimos, visto que a panela é de fato muito bonita (relativo a cada pessoa) e chamativa e que realmente a pedra,

devido sua maior espessura, consegue manter o calor por mais tempo no interior da panela após a mesma ser retirada do fogo. No entanto, todos os outros supostos benefícios são pontos chaves da manipulação mental da propaganda em cima das pessoas leigas que assistem e acreditam veementemente no anúncio.

Fazendo uma análise do primeiro ponto utilizado para convencer as pessoas, para quem tem conhecimento básico de Física, já percebe que se trata de uma fraude, visto que se a panela cozinha os alimentos sob alta pressão, não tem como abrir sua tampa a qualquer momento durante o cozimento dos alimentos.

Outro fato interessante é que, como a panela é feita de pedra, suas paredes são bem mais espessas do que as panelas comuns de alumínio, inox ou até mesmo ferro fundido, com espessura que varia de 2,0 a 3,0 cm, enquanto uma panela de pressão em alumínio possui entre 1,8 e 2,0 mm de espessura. E pela Lei de Fourier da condução térmica, quanto mais espessa for a parede entre as regiões “quente” e “fria” do sistema termodinâmico, menor será o fluxo de calor propagado através dela, visto que o fluxo de calor e a espessura da parede são grandezas inversamente proporcionais (Chaves; Sampaio, 2007; Nussenzveig, 2014b; Torres *et al.* 2016b; Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, 2015). Portanto, neste tipo de panela, a água demoraria bem mais tempo para esquentar e entrar em ebulição do que na panela de pressão comum feita de alumínio. Isso implicaria num maior gasto de gás de cozinha, afetando o bolso de quem a comprasse e utilizasse durante o preparo diário dos alimentos. Inclusive isso acarretaria num maior tempo de cozimento dos alimentos, tanto pelo fato mencionado anteriormente quanto tempo fato que a água não irá ultrapassar os 100 °C. No entanto, assim como a panela de pressão demora a esquentar a água em seu interior, por conta de tal espessura das suas paredes, a temperatura da água em seu interior leva mais tempo para esfriar, visto que a dissipação de calor para o meio externo demoraria mais tempo por conta da espessura das paredes da panela, o que favorece para manter os alimentos quentes por mais tempo, após a panela ser retirada do fogo.

Baseado nisso, foi realizado uma roda de conversa com os educados dos grupos por meio de uma abordagem pedagógica dialógico-problematizadora (Freire, 1987; Delizoicov; 1982; 1983; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 1981; 2021) com o intuito de desenvolver uma atividade pautada na análise fundamentada da propaganda da suposta “panela de pressão de pedra”. Essa conversa foi gravada com o auxílio do dispositivo celular para análise futura.

Essa atividade proposta consistiu em duas etapas, sendo a primeira uma conversa a partir de 04 (quatro) questões conceituais, e a segunda uma resolução matemática hipotética da situação contextualizada, por meio de uma estimativa teórica da massa que a tampa da panela

de pressão deveria ter para que ela conseguisse, supondo não haver vazamento de vapor pela junção da tampa com o corpo da panela ou pela “válvula” (chaminé), ter o mesmo efeito de pressão e temperatura que uma panela de pressão verdadeira, já que é o peso da válvula reguladora de pressão em uma panela de pressão real que faz surgir a pressão adicional no interior da panela, elevando o ponto de ebulição da água e permitindo que os alimentos cozinhem com mais celeridade.

De forma a conduzir esse diálogo durante a primeira etapa da atividade, foram lançados os seguintes questionamentos, do primeiro ao quarto, aos grupos (Apêndice J), um por vez, esperando que todos que quisesse responder, se prontificassem e falassem, de modo a fornecer situações aos mesmos em que pudessem aplicar os conhecimentos físicos conceituais construídos ao longo da OC em uma situação de leitura e escrita de mundo (Brasil, 1996; 2018a; Bahia, 2022). É importante ressaltar que essas respostas poderiam ser escritas, mas, para dinamizar o tempo da atividade, optou-se por fazer as quatro primeiras perguntas da atividade de forma oral para a turma, com o intento também de promover o diálogo na turma (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022). O Quadro 8 abaixo contém os quatro questionamentos feitos aos educandos e suas respectivas respostas, utilizando o instrumento “*entrevista*” estabelecido por Luckesi (2011) e Rosa e Pires (2022) no Quadro 2.

Etapa 1 – Aplicação do conhecimento físico conceitual na análise da propaganda da suposta “panela de pressão de pedra”

Quadro 8 – Transcrição do diálogo do professor com os educandos (registros feitos por meio de gravações de áudio com o celular durante a roda de conversa).

Pergunta do professor	Narrativas dos participantes
<p>1) Após assistir ao vídeo sobre o marketing da “panela de pressão de pedra”, qual sua análise sobre?</p>	<p>Participante do Grupo 1 (equipe Grauçá): “É uma panela belíssima, mas não é uma panela de pressão por não ter a válvula, borracha [...]”</p> <p>Participante do Grupo 2 (equipe Quitongo): “Nois notou que ela não faz barulho, aquele chiado lá, acho que não é pressão”</p> <p>Participante do Grupo 3 (equipe Jubarte): “Que a panela apresentada no vídeo não é uma panela de pressão de verdade, e sim uma panela comum com um buraco”</p> <p>Participante do Grupo 4 (equipe Gameleira): “Não é de pressão! Se olhar bem o vídeo, aquela válvula parece mais uma chaminézinha do que uma válvula de controle de pressão. Então não pega pressão”</p>

	<p>Participante do Grupo 5 (equipe Abrolhos): “Analisando atentamente o vídeo, podemos perceber que a propaganda que a mulher faz é enganosa. Se tivesse pressão mesmo, não teria como abrir a qualquer momento”</p> <p>Participante do Grupo 8 (equipe Atobá): “É falsa, professor! Falsa porque ela não acumula muito vapor dentro dela. Sai tudo pelo furo quando a água ferve lá dentro e não acumula, não tem pressão extra”</p>
<p>2) Havendo condições e interesse pessoal, você compraria essa “panela de pressão de pedra” da propagando do vídeo?</p>	<p>Participante do Grupo 1 (equipe Grauçá): “[...] eu não compraria. É uma panela de pedra comum. Não possui os mesmos benefícios de uma panela de pressão de verdade, e além disso ela tem um preço muito alto”</p> <p>Participante do Grupo 2 (equipe Quitongo): “Se realmente fosse uma panela de pressão de pedra, eu compraria. Mas como não é, compensa mesmo é comprar uma panela normal que tem os benefícios de cozinhar mais rápido a comida”</p> <p>Participante do Grupo 3 (equipe Jubarte): “Sim. É uma panela bonita. Pode não ser de pressão, mas compraria. É tipo uma panela de barro”</p> <p>Participante do Grupo 4 (equipe Gameleira): “Não, pois essa panela não pega uma pressão eficiente. No caso ela não tem o mesmo efeito de uma panela de pressão normal”</p> <p>Participante do Grupo 5 (equipe Abrolhos): “Não, pois ela não é uma panela de pressão. É uma propaganda Fake News e só possui gasto”</p>
<p>3) O que você acha desse tipo de propaganda? Você acha que o conhecimento científico pode evitar Fake News ou possíveis golpes?</p>	<p>Participante do Grupo 1 (equipe Grauçá): “Acho desnecessário propaganda enganosa, já que poderia só falar que a panela é só bonita e chique mesmo. E sim, a Ciência pode evitar muitas Fake News. Por exemplo, se você ter algum conhecimento científico em Física, essa propaganda pode ser facilmente desmascarada”</p> <p>Participante do Grupo 2 (equipe Quitongo): “Nois achou aqui uma falta de respeito com os consumidores. Com o que nois aprendeu de Física, dá pra perceber que essa panela não tem os mesmos mecanismos de uma panela de pressão normal. Então, nois acha aqui que o conhecimento científico pode sim evitar golpes e Fake News professor”</p> <p>Participante do Grupo 3 (equipe Jubarte): “Ela não tinha conhecimento de seu público e falou aquelas informações. Pode evitar em partes. Depende da pessoa”</p> <p>Participante do Grupo 4 (equipe Gameleira): “Eu acho esse tipo de propaganda muito errado, professor, pois diz algo que ela não é. Se a pessoa tem conhecimento de Física, ela já percebe logo e evita até de compartilhar esse tipo de propaganda para que mais pessoas sem conhecimento caíam nesse golpe”</p>

<p>4) Como você explicaria cientificamente para uma pessoa leiga que acreditasse realmente nessa propaganda e quisesse muito comprar essa “panela de pressão de pedra” achando que realmente é uma panela de pressão, que essa propaganda é enganosa pois e que a panela não passa de uma panela de pedra comum?</p>	<p>Participante do Grupo 1 (equipe Grauçá): “Diria que se for comprar a panela mesmo, para ela se atentar de que ela não tem os mecanismos de uma panela de pressão de verdade, como borracha e válvula”</p> <p>Participante do Grupo 2 (equipe Quitongo): “Nois destacaria alguns pontos para a pessoa. Por exemplo, que a panela não possui borracha e não acumula pressão, além de ser grossa e demorar para esquentar pois o calor demora mais pra atravessar ela até chegar na água e na comida. Gasta mais gás do bujão e mais dinheiro. Mas tem o atributo de que mantém a comida mais tempo quente, pois o calor demora mais para sair da mesma forma que pra entrar”</p> <p>Participante do Grupo 4 (equipe Gameleira): “Explicaria que a panela não é de pressão pois ela não tem borracha e nem válvula, e sim uma chaminezinha onde sai todo a fumaça e o vapor”</p> <p>Participante do Grupo 5 (equipe Abrolhos): “Eu explicaria que para uma panela de pressão ser uma panela de pressão, ela teria que ter bastante pressão ao ponto de não conseguir abrir a tampa e explicaria sobre o pino que não funciona como numa panela de pressão comum”</p> <p>Participante do Grupo 6 (equipe Iemanjá): “Eu explicaria que além dela ser mais espessa e demoraria mais pra esquentar, ela não possui borracha de vedação e a válvula de saída de pressão é só de enfeite e não é funcional”</p> <p>Participante do Grupo 7 (equipe Carnaval): “Falaria que é apenas uma panela comum, pois o que se diz ser uma válvula é apenas um furo que poderia ser feito em qualquer panela comum”</p>
--	--

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

Com base nas respostas dos educandos constantes no Quadro 8 acima, pode-se perceber uma aprendizagem significativa dos mesmos com relação às aplicações dos conhecimentos físicos recém construídos ao longo da SD na situação de leitura e análise crítica (Freire, 1987; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021) da propaganda da “panela de pressão de pedra”. Os mesmos conseguiram identificar que essa panela não poderia ser de pressão, visto que a mesma não contém um sistema de vedação de vapor e sua “válvula” nada mais é do que um enfeite que não atua como reguladora de pressão. Isso reflete uma evolução nas aprendizagens e no desenvolvimento do senso crítico com base na Física, promovendo uma melhor autonomia com base em decisões mais conscientes a respeito dos aparelhos tecnológicos presentes em seus cotidianos. Isso enfatiza a importância que a alfabetização técnica promovida por Bazin (1977a), e reforçadas por Bastos (1990) e José e Darlon (2022), tem dentro do Ensino de Física

como forma de promover liberdade aos educandos para que possam atuar em suas vivências de mundo de forma mais libertadora.

Um fato interessante a se analisar é que, para esse tipo de panela gerar uma pressão interna equivalente a uma pressão usual de 2,00 atm das panelas de pressão comuns, resultando em uma temperatura de aproximadamente 120 °C, já que ela não possui um sistema de travamento de sua tampa, e considerando que a saída de vapor estivesse fechada (para acumular vapor no interior da panela), a massa de sua tampa deveria ser extremamente grande, o que tornaria completamente inviável. Nesse caso, a própria tampa faria o papel de “válvula reguladora de pressão” da panela, supondo também que não haveria vazamento de vapor entre a junção da tampa com o corpo da panela. Para saber uma estimativa bem próxima, e tendo essas considerações em vista, segundo Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (2015), basta saber qual o diâmetro interno da tampa de um dos modelos desse tipo de “panela de pressão de pedra”. E isso consiste na segunda etapa da atividade proposta.

No site do Mercado Livre, um anunciante informou que o modelo mais vendido, com capacidade volumétrica de 4 L, exatamente o mesmo que aparece nas propagandas, possui um diâmetro interno de 22 cm (raio de 11 cm) em sua tampa, conforme pode ser visto na (Figura 01 da atividade proposta). Baseado neste valor, e considerando $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $\pi = 3,14$, e $p = 202.650 \text{ Pa}$ (2,00 atm), temos que sua massa pode ser estimada utilizando a expressão matemática da Eq. (97), considerando que a mesma esteja ao nível do mar:

$$p_{int} = p_{atm} + \frac{m \times g}{\pi \times r^2}$$

Substituindo os valores, temos:

$$202.650 = 101.325 + \frac{m \times 9,81}{3,14 \times (11 \times 10^{-3})^2}$$

Resolvendo, temos que:

$$m = \mathbf{392,43 \text{ kg}}$$

Portanto, o resultado acima demonstra completamente a fraude que é este tipo de propaganda, visto que o peso somente da tampa seria de quase 400,00 kg, um completo absurdo.

Somente com conhecimentos básicos de Física é possível evitar pagar caro, aproximadamente R\$ 330,00 (Figura 1 da atividade proposta), em uma suposta panela de pressão de pedra que pode ser aberta a qualquer momento sem risco de explosão, sendo que na verdade não passa de uma panela de pedra comum. Esse resultado é referente a questão número 5 da atividade proposta aos educandos. A partir dele, os educandos irão obter resultados baseado na análise física e matemática dessa mesma situação, comparando seus resultados ao resultado esperado obtido pelo professor.

Esta atividade consistiu em utilizar os conhecimentos físicos construídos ao longo da SD para aplica-los em situações reais de leitura e escrita de mundo, por meio da análise de um vídeo da propaganda de uma suposta “panela de pressão de pedra” que poderia ter sua tampa aberta com facilidade em qualquer momento durante o cozimento dos alimentos, sem que houvesse risco de explosão. Após assistir ao vídeo, os educandos se reuniram em suas respectivas equipes para poder desenvolver a atividade proposta abaixo.

Etapa 2 – Aplicação do conhecimento físico e resolução matemática da estimativa teórica da massa da tampa da “panela de pressão de pedra”

5) De acordo com um comerciante desse tipo de panela no Mercado Livre, o diâmetro interno da tampa da mesma é de aproximadamente 22 cm, conforme Figura 1. Utilize argumentos matemáticos para comprovar cientificamente a fraude que é esse tipo de propaganda. Para isto, calcule a massa, em kg, que a tampa dessa panela deve ter para que a pressão interna seja de 2,00 atm, o que resultaria numa temperatura de cozimento de 120 °C igual as panelas de pressão verdadeiras. Use: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $\pi = 3,14$ e $p_{atm} = 1,00 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa}$. Diga se há algum sentido lógico o resultado obtido. Utilize a equação:

$$p_{int} = p_{atm} + \frac{m g}{\pi r^2}$$

Figura 1 – “Panela de pressão” feita de pedra sabão, com venda anunciada no Mercado Livre.



Fonte: Mercado Livre (© 1999 - 2023, online).

Essa atividade representou grande desafio devido à falta de embasamento matemático pela maioria dos educandos, o que ocasionou dificuldades na interpretação e resolução da questão, conforme Silva (2019) e Vidal, Cunha e Bueno (2021) afirmam em seus estudos. No entanto, com auxílio do professor e de alguns educandos que possuem melhor embasamento e habilidades matemáticas, a atividade pôde ser concluída com êxito por 07 (sete) dos 08 (oito) grupos participantes (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022). Abaixo tem-se uma tabela contendo os resultados finais obtidos por cada um dos grupos participantes, bem como o valor de referência dos mesmos a partir do resultado encontrado pelo professor previamente e apresentado anteriormente nessa pesquisa.

Tabela 8 – Valores de estimativa da massa da tampa da panela de pressão de pedra para que a mesma chegasse à mesma pressão e temperatura de uma panela de pressão convencional.

Resultado obtido (professor)	Equipes	Resultado obtido (por equipe)
392,43 kg	Atobá	392,36 kg
	Grauçá	392,43 kg
	Gameleira	392,40 kg
	Jubarte	392,40 kg
	Iemanjá	392,00 kg
	Quitongo	392,40 kg
	Carnaval	392,43 kg
	Abrolhos	Não conseguiu

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Abaixo, tem-se Figura 93 contendo a resolução matemática da questão 5, com resultado, interpretação e considerações do mesmo por um dos grupos participantes.

Figura 92 – Resposta do grupo 4 (equipe Gameleira).

$$P_{int} = P_{atm} + \frac{m \cdot g}{\pi r^2}$$

$$P_{int} - P_{atm} = P = 702650 - 101325$$

$$P = 501325$$

$$m = \frac{P \cdot \pi \cdot r^2}{g}$$

$$m = \frac{501325 \cdot 3,14 \cdot 0,11^2}{9,81} = 3849,74$$

$$m = 3849,74205 \div 9,81 \approx 392,4 \text{ Kg}$$

Essa propaganda é enganosa porque para que essa panela chegasse a mesma pressão e temperatura de uma panela de pressão normal, a massa da sua tampa deveria ser quase 400 kg.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Caso queria ver as resoluções de todos os grupos digitalizadas, acesse com seu dispositivo celular o QR Code abaixo ou então por meio do Link https://docs.google.com/document/d/1-F_gDmt7vQkRgAGAgF8iw_HO2QB9_MUU/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true.



Esses resultados apresentados na Tabela 8 evidenciam uma consolidação das aprendizagens com relação à abordagem das relações termométricas (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022). Todos os grupos, exceto um deles, conseguiram efetuar a resolução da atividade de forma eficiente, obtendo resultados bastantes satisfatórios, além do processo para se chegar aos resultados estarem condizentes com os procedimentos teóricos estabelecidos previamente.

A partir dos resultados obtidos, os grupos conseguiram compreender a relevância de se estudar a Física de forma abrangente, crítica e reflexiva (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022), utilizando os conhecimentos construídos para situações reais de leitura e escrita de mundo, como é o caso de evitar cair num golpe devido a uma propaganda enganosa mal intencionada.

A abordagem matemática empregada, atrelada pelo conhecimento conceitual estudado sobre a pressão e sua influência na temperatura de ebulição da água, serviram para se obter um parâmetro quantitativo que comprovasse a veracidade dessa propaganda da suposta panela de pressão de pedra dos vídeos que circulam em anúncios nas redes sociais. Os educandos conseguiram perceber que se trata de uma panela de pedra comum, tanto por seus resultados obtidos, quanto pelas análises do entendimento do conceito de pressão. No entanto, os educandos do Grupo 5 (equipe Abrolhos) não conseguiram realizar a resolução matemática da situação proposta.

Além disso, os educandos realizaram a atividade de criação de uma arte gráfica que satirizasse a propaganda enganosa com bases nas conclusões feitas a partir dos resultados

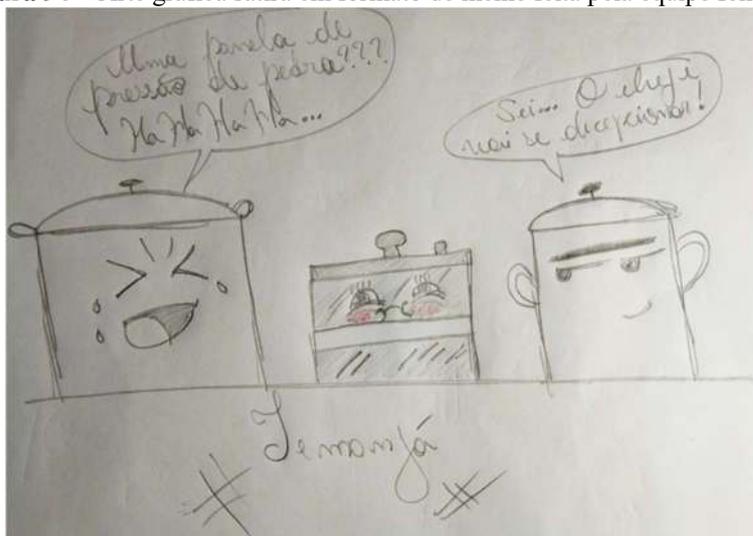
matemáticos de estimativa da tampa da massa da panela de pressão. Abaixo tem-se duas dessas artes ilustradas na Figura 94 e na Figura 95 por dois dos grupos participantes.

Figura 93 – Arte gráfica sátira em formato de tirinha feita pela equipe Carnaval.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Figura 94 – Arte gráfica sátira em formato de meme feita pela equipe Iemanjá.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Um dos motivos da escolha dessa atividade foi o fato que nessa turma possui de 05 (cinco) a 06 (seis) educandos que têm certa habilidade com desenhos à mão. E isso foi uma ótima forma de criar uma interdisciplinaridade com o componente curricular Arte em prol da consolidação da aprendizagem da Física estudada ao longo da SD. Essa perspectiva, alinhada à ideia de trabalhos em grupos, proporcionou que cada educando contribuísse com suas habilidades naturais para a aprendizagem de seu grupo dos conhecimentos físicos estudados. Seja por meio de escrita, leitura, resolução matemática de uma situação-problema, perspectivas a respeito de determinado assunto, ou, neste caso, a criação de uma “arte gráfica” (Quadro 2)

que, apesar de não requerer a habilidade de desenhar para ser feita, proporcionou a esses educandos manifestarem e utilizarem suas habilidades com desenhos para contribuir com o processo educativo de seus respectivos grupos.

Caso queira ver os outros 03 (três) desenhos associados à criação da *arte gráfica sátira*¹⁶ a respeito da propaganda enganosa da “panela de pressão de pedra”, feitos por outros 03 (três) grupos, acesse o QR Code abaixo ou por meio do Link <<https://docs.google.com/document/d/1RFpEdNTZvapKRUI7N-UEBwWiA3Nh9pOI/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>>.



5.6 ATIVIDADE DE LEITURA DA TIRINHA SOBRE A EXPLOSÃO DA PANELA DE PRESSÃO

1) Analise as imagens na tirinha abaixo e escreva sua interpretação física e preventiva associada à situação exposta. Evidencie conceitos e fenômenos físicos, bem como as leis que os regem.

Figura 1 – Quadrinho associando a panela de pressão com uma plataforma de lançamento de foguetes.

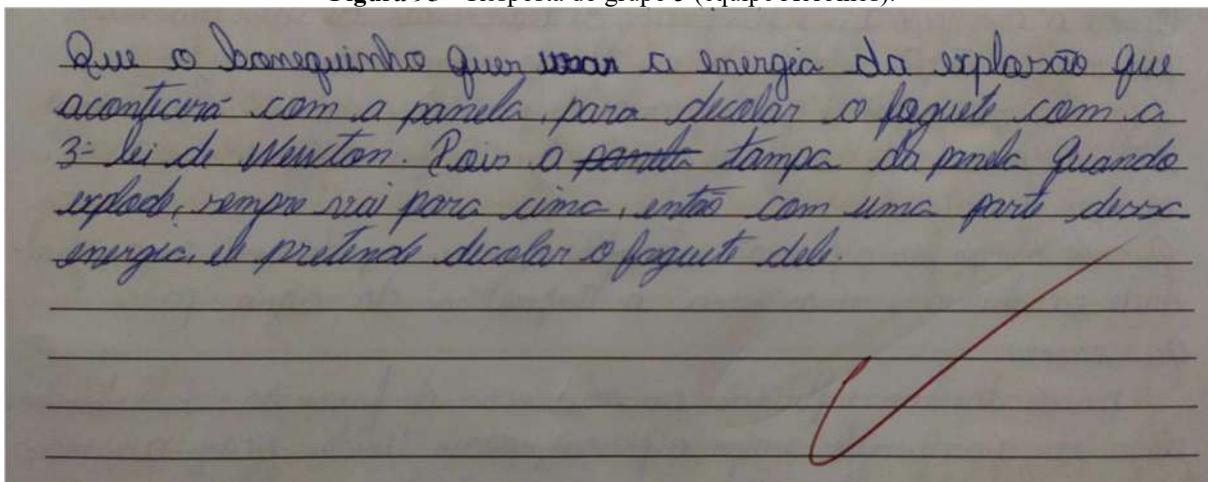


Fonte: Montini (2022, p. 14).

¹⁶ É um tipo de expressão artística visual que utiliza elementos gráficos, como desenhos, ilustrações, caricaturas, tirinhas, charges ou, mais atualmente, memes, para transmitir críticas sociais, políticas, econômicas, culturais etc. de forma humorística e muitas vezes, provocativas. Essa arte vem sendo utilizada há muitos anos como maneira de comentar e questionar questões importantes da sociedade.

Abaixo, tem-se a Figura 96 com a resposta discursiva dada por um dos grupos participantes.

Figura 95 – Resposta do grupo 5 (equipe Abrolhos).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Caso queira ver as respostas de todos os grupos digitalizadas, acesse com seu dispositivo celular o QR Code abaixo ou então por meio do Link https://docs.google.com/document/d/1hI5BnyWoex06CfcuECXnb6_RUfef0oFi/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true.



Por meio da análise qualitativa das respostas desses participantes (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022), pode-se notar que os mesmos conseguiram compreender a essência da Física envolvida no fenômeno de explosão da panela de pressão por meio do conhecimento científico construído acerca das Leis de Newton, da Lei da Conservação da Energia Mecânica e da Lei de Conservação do Momento Linear, se aproximando substancialmente da resposta esperada. Isso evidencia uma consolidação da aprendizagem desses dois objetos do conhecimento da Mecânica Clássica. Apenas o participante do Grupo 2 (equipe Quitongo) se atentou à questão de segurança associada ao uso da panela de pressão

(Babini, 2021a; 2021b; Santos; Meireles, 2022), como por exemplo, o selo de qualidade do INMETRO.

Com exceção do participante do Grupo 8 (equipe Atobá), todos os outros apresentaram uma resposta bem consolidada, apesar de nenhum deles ter abordado a todos os direcionamentos do enunciado da questão.

Quadro 9 – Transcrição das respostas escritas dos grupos participantes.

Grupo/equipe	Narrativas dos grupos participantes
Grauçá	“de acordo com as leis de nilton esse cara está buscando explodir a panela de pressao para que a tampa da panela leve para cima como se fosse um ejetor”
Quitongo	“Por conta da panela não ser aprovada pela segurança ela se torna perigosa e com risco de explosão, o que faz com que o impacto da pressão da tampa voando para cima, seria como uma plataforma de lançamento de foguetes, o que o lançaria para cima”
Jubarte	“Essa tirinha diz respeito à explosão da panela de pressão, que a tampa impulsiona o foguete para cima e com maior intensidade. Referi-se também a 3ª lei de Newton (toda ação tem reação)”
Gameleira	“É o princípio da ação e reação, a panela de pressão foi usada para lançar o foguete, usando as leis de Nilton (a 1 e a 3). A explosão faz com que o foguete vo para cima”
Abrolhos	“Que o bonequinho quer usar a energia da explosão que acontecerá com a panela, para decolar o foguete com a 3ª lei de Newton. Pois a tampa da panela quando explode, sempre vai para cima, então com uma parte dessa energia, ele pretende decolar o foguete dele”
Iemanjá	“De acordo com as leis da fisica quando a panela chegar em sua temperatura máxima e perder sua válvula de proteção sua tampa irá subir fazendo com que o missel suba na mesma direção, de acordo com a terceira lei de Newton”
Carnaval	“O quadrinho mostra que o cara do último quadrinho vai usar parte da energia da explosão para fazer o foguete subir de acordo com a terceira lei de Newton”
Atobá	“Na tirinha mostra a primeira e a terceira lei de Newton, na qual é conhecida como lei da inércia na primeira afirma que o objeto permanece em repouso ou movimento ao menos que uma força atue sobre ela, já a terceira lei de Newton acredita que toda ação possui uma reação”
Resposta esperada (professor)	“Devido a panela de pressão utilizada pelo personagem da tirinha não ter o selo de aprovação do INMETRO, isso faz com que ela possui muito mais chances de explodir, caso não haja o funcionamento simultâneo de suas válvulas de controle de pressão e de segurança, localizadas em sua tampa. Com isso, o personagem da tirinha resolve utilizá-la para servir de plataforma de lançamento de um foguete de brinquedo que ele tem em mãos. Esse fato só é possível caso a panela exploda de fato, visto que parte da energia liberada durante a explosão faz com que as duas partes da panela de pressão (corpo e tampa) se separem e acelerem em sentidos opostos ao longo da direção vertical, resultando na transferência de parte dessa energia da ejeção da tampa para o foguete, fazendo o mesmo “decolar” de forma acelerada para cima. Esse fenômeno é explicado pelas Leis de Newton e também pela Lei de Conservação do Momento Linear, uma vez que a tampa, por ter menor inércia (massa) em relação ao corpo da panela, sofre uma maior aceleração com o mesmo ganho de energia cinética durante a explosão. Como medida preventiva, é necessário que as panelas de pressão possuam selo de qualidade do INMETRO e também tenham manutenções preventivas periódicas, sobretudo a limpeza e desobstrução da válvula reguladora de pressão e troca da borracha de vedação a cada ano”

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

As respostas dadas pelos educandos dos grupos foram bem coerentes com a resposta esperada do professor. Isso evidencia uma consolidação dos conhecimentos científicos construídos ao longo da SD. A maioria dos educandos davam suas respostas baseadas nas Leis de Newton ou na ideia de utilização da energia da explosão da panela para promover um

lançamento do foguete. Isso reflete uma aprendizagem significativa em que os mesmos conseguiram aplicar os conhecimentos físicos recém construídos em contextos fora do padrão comum das questões de Física. No entanto, nenhum educando deu a resposta com base na Conservação do Momento Linear. Porém, a essência do entendimento científico da situação ilustrada foi atingida com sucesso por boa parte dos educandos.

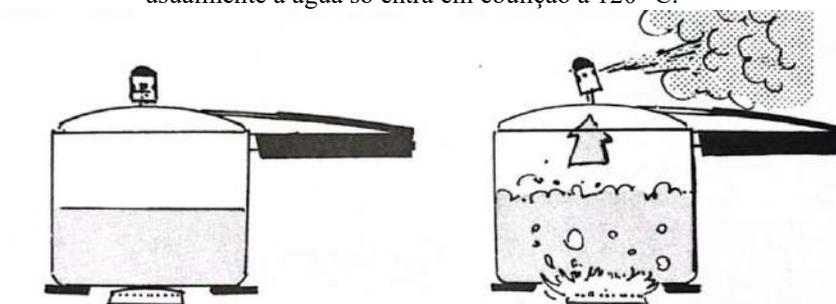
5.7 ATIVIDADE DE LEITURA DA IMAGEM SOBRE A FÍSICA ENVOLVIDA NO COZIMENTO DOS ALIMENTOS NA PANELA DE PRESSÃO

Esta atividade consistiu em verificar as interpretações que os educandos tinham a respeito de uma situação ilustrativa em Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (2015, p. 47). Trata-se de uma atividade discursiva com o intuito de analisar as respostas abertas dos educandos sobre a Física envolvida no cozimento dos alimentos na panela de pressão a partir da análise das imagens presentes na ilustração proposta.

Atividade

1) Analise a imagem abaixo e descreva fisicamente, de acordo com seu entendimento, os processos de transferência e transformação de energia presentes na situação ilustrada, as transições de fases ocorridas e a relação entre a pressão interna e a temperatura de ebulição da água com o tempo de cozimento dos alimentos.

Figura 1 – Panela de pressão antes (à esquerda) e depois (à direita) de “pegar” pressão. Na panela de pressão, usualmente a água só entra em ebulição a 120 °C.



Fonte: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (2015, P. 47).

O Quadro 10 abaixo contém a transcrição exata das respostas que os educandos deram coletivamente em cada grupo. Essa transcrição foi feita exatamente como os participantes escreveram em papel, incluindo erros na norma culta da língua portuguesa. No entanto, é essencial que seja assim para se ter mais proximidade com cada mensagem a ser analisada.

As respostas dos grupos participantes foram analisadas a partir do grau de proximidade que as mesmas tiveram da resposta esperada elaborada pelo professor.

Quadro 10 – Transcrição das respostas escritas dos grupos participantes.

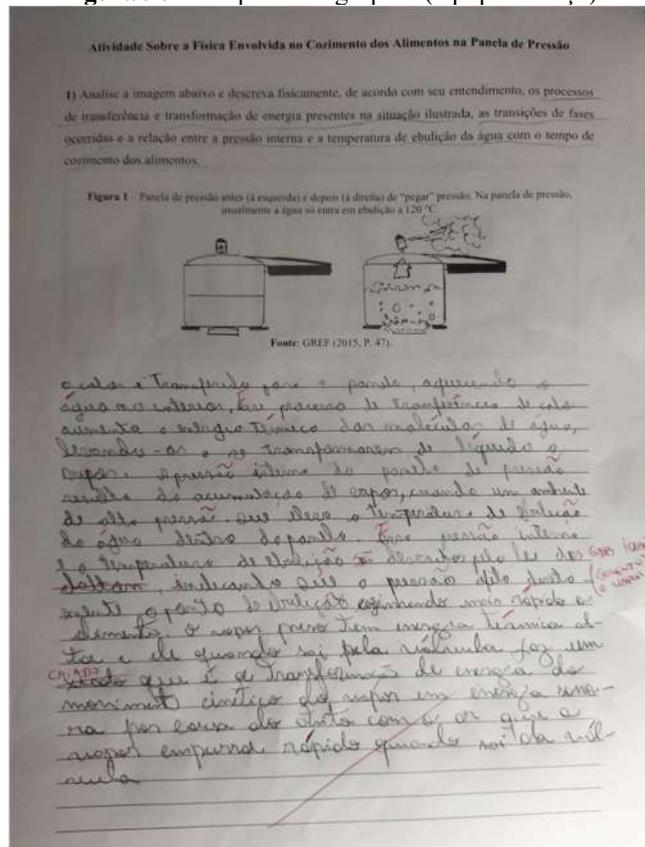
Grupo/equipe	Narrativas dos grupos participantes
Grauçá	“o calor é transferido para a panela, aquecendo a água no interior, esse processo de transferência de calor aumenta a energia térmica das moléculas de água levando-as a se transformarem de líquido a vapor, a pressão interna da panela de pressão resulta da acumulação de vapor criando um ambiente de alta pressão que eleva a temperatura de ebulição da água dentro da panela. essa pressão interna e a temperatura de ebulição é descrito pela lei de Dalton, indicando que a pressão afeta diretamente o ponto de ebulição cozinhando mais rápido o alimento. o vapor preso tem energia térmica alta e ele quando sai pela válvula faz um xiado que é a transformação de energia do movimento cinético do vapor em energia sonora por causa do atrito com o ar que o vapor empurra rápido quando sai da válvula”
Quitongo	“A primeira panela de pressão não tem uma transferência de energia já a segunda panela de pressão tem fogo que serve como fonte de energia fazendo a água ferver causando a ebulição transformando a água líquida em forma gasosa saindo pela válvula de escape da panela de pressão”
Jubarte	“energia térmica em forma de calor na segunda imagem. ebulição e condensação da água e a panela de pressão cozinha os alimentos mais rápido por causa do aumento da pressão e os vapores formados fazem aumentar a temperatura de ebulição da água, ficando ela com mais energia para transferir aos alimentos”
Gameleira	“na primeira panela de pressão esta a 20 °C no estado líquido. já na segunda panela o estado dela muda conforme sensação térmica (calor) transformando o líquido em gasoso/vapor”
Abrolhos	“Ocorre a convecção que é um processo de transmissão de calor que ocorre pela movimentação interna de um fluido. E a transformação é que a panela de pressão aumenta a pressão interna e possibilita a fervura da água acima do seu ponto de ebulição, que é 100 °C. Quanto menor for a pressão atmosférica, mais rapidamente essa igualdade acontecerá e menor será a temperatura da água para que ocorra. A pressão também influencia as mudanças de fases das substâncias, uma vez que, quanto maior a pressão, mais unidas ficam as moléculas, o que dificulta mudanças na estrutura molecular ou na movimentação dos átomos que as constituem, dificultando também as mudanças de fases”
Iemanjá	“Na primeira imagem não há transição de fase, já na segunda imagem a troca de energia entre o fogão e a panela sendo o calor, já a transição de estado ocorre da água para vapor sendo a vaporização e do vapor quanto encosta na tampa fria ocorrendo a condensação de volta”
Carnaval	“Primeiro quando acende o fogo a energia do calor passa para a panela fazendo com que as células entrem em agitação ocupando o espaço da panela, fazendo assim com que saia a pressão”
Atobá	“Na primeira imagem podemos ver que ainda não teve nenhuma reação pois a água ainda estava sendo esquentada por isso ela estar imóvel, agora na segunda imagem a panela já tem pressão dentro dela por isso ocorre “essa movimentação” dentro dela, e ela esta soltando pressão dentro dela”
Resposta esperada (professor)	“Na primeira imagem a panela de pressão está a uma temperatura ambiente. Logo, não há processos que envolvam transferências e transformações de energia evidentes. Além disso, não se observa nenhuma transição de fase. Contudo, na segunda imagem, há uma clara movimentação da água devido à formação de bolhas da mesma, indicando que ela está fervendo, ou seja, atingiu seu ponto de ebulição, caracterizada pela mudança do estado líquido para o gasoso devido ao fornecimento (transferência) de calor. Além disso, outra mudança de fase pode ser intuída quando os vapores no interior da panela, com energia térmica mais alta, entram em contato com a superfície metálica “fria” da parte de dentro da tampa da panela, resultando no processo inverso da ebulição, que é a condensação, formando gotículas de água líquida nessa superfície. Como observa-se também o escape de vapor pela válvula reguladora de pressão, isso indica que a pressão no interior da panela já ultrapassou o limite estabelecido pelo peso da válvula, indicando também que a temperatura de ebulição da água está acima dos 100 °C, caso ela esteja ao nível do mar ou abaixo (Amsterdã, por exemplo), permitindo que os alimentos cozinhem mais rápido devido a maior taxa de transferência de energia da água para os alimentos, uma vez que a pressão influencia diretamente no ponto de transição de fase de qualquer substância. Durante a saída desses vapores pela válvula, os mesmos

	empurram rapidamente o ar circundante para longe, gerando um som característico (chiado) que é oriundo da transformação (dissipação) de energia cinética desses vapores em rápida expansão através da válvula, em energia sonora, por conta do atrito com o ar”
--	---

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

A partir da análise qualitativa dessas respostas (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022), pode-se perceber que os educandos conseguiram identificar alguns conceitos e fenômenos físicos-chave da situação ilustrada na figura, que representa o processo de cozimento dos alimentos sob alta pressão, na segunda imagem, e a água a uma temperatura e uma pressão ambiente, na primeira imagem. Os educandos identificaram situações de transferência de energia e transições de fases que ocorrem no processo da segunda imagem, mesmo havendo alguns pequenos erros conceituais. Além disso, os processos pelo qual o calor é transferido, como a condução e a convecção térmicas, e a dissipação de energia térmica em energia sonora quando os vapores escapam pela válvula reguladora de pressão, também foram identificados por eles. Apesar de não darem as respostas de forma completa, conforme pede o enunciado, os resultados obtidos são satisfatórios e representam uma evolução no processo educativo. Abaixo, tem-se a Figura 97 com a resposta discursiva dada por um dos grupos participantes.

Figura 96 – Resposta do grupo 1 (equipe Grauçá).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Caso queira ver as respostas de todos os grupos digitalizadas, acesse com seu dispositivo celular o QR Code abaixo ou então por meio do Link https://docs.google.com/document/d/1z5KNDFLoGVF4hfZGjP_PJ0iVW8TmrqLY/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true.



5.8 ATIVIDADE DE LEITURA DA IMAGEM SOBRE A ÁGUA FERVENDO EM ALTITUDES DIFERENTES

Atividade com Questão Discursiva: valor 10,0 pontos

1) Faça uma leitura da imagem da Figura 1 abaixo e disserte criticamente, de forma científica, sobre as informações que podem ser obtidas pela ilustração.

Figura 1 – Mudanças sob pressão.



Fonte: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (2006, p. 61).

A aplicação dessa atividade consistiu em utilizar uma imagem ilustrativa, disponibilizada por Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (2015, p. 61), para analisar as compreensões dos educandos das leituras que os mesmos fazem da imagem, baseado nos conhecimentos físicos construídos ao longo da SD. É uma atividade avaliativa qualitativa (formativa), mas também quantitativa (somativa), valendo uma nota de 10,0 (dez) pontos. O Quadro 11 a seguir contém as transcrições das respostas dos grupos participantes. Essas transcrições foram feitas exatamente da mesma forma em que foram escritas pelos educandos, incluindo erros gramaticais.

Quadro 11 – Transcrição das respostas escritas dos grupos participantes.

Grupo/equipe	Narrativas dos grupos participantes
Grauçá	“Nois observamo que a panela de baixo está no nível do mar que no caso tem que ferver a 100 ° (celsius), já observando a panela de cima ela ferveu mais rapido pois la no monte tem menos ar e a pressão é menor”
Quitongo	“Na altitude do mar a água ferve a 100 °C por isso ela se mantem em estado líquido na imagem representada a 80 °C. já na altitude da montanha, quanto maior a altitude, menor sera a pressão o que resultara em um menor tempo de ebulição, por isso a água ferve a 80 °C”
Jubarte	“A imagem mostra de forma simples que quanto maior for a altitude, menor será a pressão, e por isso, a água fervera há uma temperatura mais baixa, como representado na imagem em que a água ferveu a 80 °C, enquanto a outra representação só chegava a esse estado à 100 °C”
Gameleira	“O fato do lugar ter uma altitude maior, faz entender que a pressão exerce com menor intensidade e consequentemente afeta o ponto de ebulição da água e isso realiza o cozimento mais demorado do alimento”
Abrolhos	“Quanto maior a altitude, menor será o ponto de ebulição Essas variações no ponto de ebulição acontecem porque quanto maior a pressão atmosférica, mais dificuldade as moléculas da água têm para se movimentarem, mudar de estado físico. Já em locais de altitude, a pressão atmosférica é menor e as moléculas têm mais mobilidade”
Iemanjá	“A panela que está em baixo irá ferver em um tempo mais demorado por conta de estar no nível do mar, já a que está na montanha irá ferver mais rápido por que está acima do nível do mar. Pois quanto maior a altitude menor a temperatura de pressão”
Carnaval	“Sabe-se que quanto maior a altitude, menor será o ponto de ebulição. Então enquanto no nível do mar a água ferve em 100 °C na montanha ferve em menor, por isso que na ilustração a água acima do nível do mar, em 80 °C já esta fervendo”
Atobá	“A figura está relacionada a altitude, ou seja a água de baixo está a 80 °C ao nível do mar que ferve a 100 °C, já a de cima devido a altitude maior a água ferve a 80 °C e mais devagar. panela de cima – entra em estado de ebulição mais rápido porém demora a cozinhar. panela de baixo – demora a entrar no estado de ebulição porém cozinha mais rápido. Ou seja está relacionado também a pressão atmosférica”
Resposta esperada (professor)	“Na figura apresentada podemos observar duas situações distintas em uma mesma imagem. A paisagem consiste basicamente do topo de uma montanha alta e a beira da praia. Em cada uma dessas localizações, encontra-se um caldeirão com água que está sobre o fogo, com cada um deles tendo um termômetro que registra as respectivas temperaturas em cada uma das situações, que no caso ilustrado, correspondem a 80 °C. No entanto, na situação do topo da montanha, percebe-se que há vapor escapando, indicando que a água ali estava fervendo, causando espanto do homem alado que achou que a água só iria ferver a 100 °C. Em contrapartida, na situação à beira mar, a água ainda não se encontra fervendo, indicando que a mesma ainda não iniciou o processo de mudança da fase líquida para a gasosa (ebulição). Isso é devido à pressão atmosférica em cada uma dessas localidades. Em locais mais elevados, em relação ao nível do mar, existe uma menor quantidade de ar, exercendo menos peso sobre a superfície da água no caldeirão e, consequentemente, gerando uma menor pressão atmosférica sobre ela. Isso faz com que as moléculas de água necessitem de menos energia térmica, fornecida pela chama da fogueira, para conseguirem vencer a tensão superficial da água e escaparem na forma de vapor, ao contrário da situação à beira mar, em que está

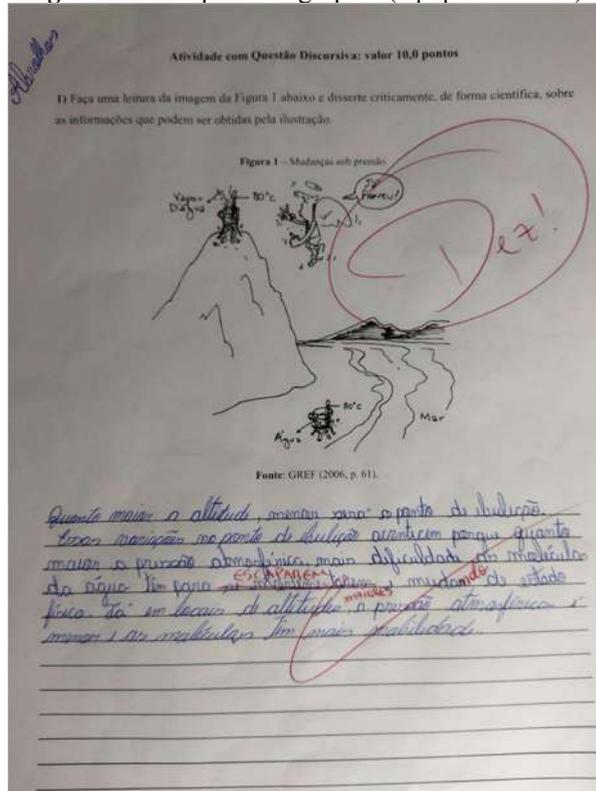
alinhada com o nível do mar, e a este nível, existe mais ar acima exercendo uma maior pressão atmosférica que influencia o ponto de ebulição da água, fazendo-a ferver a 100 °C. Ou seja, na altitude do nível do mar, as moléculas de água precisam de mais energia térmica, fornecida na forma de calor, para conseguirem vencer a tensão superficial da água, por conta da pressão atmosférica sobre esta película de água dificultar mais o escape dessas moléculas na forma e vapor. Portanto, como a temperatura é uma grandeza física diretamente associada à energia interna do sistema, quanto maior for a indicação da temperatura, maior será a energia térmica que foi fornecida ao sistema na forma de calor”

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

Essa foi uma das atividades de maiores êxitos realizadas pelos educandos. A grande maioria dos grupos participantes conseguiram, colaborativamente entre seus membros, responder de forma muito satisfatória. Isso evidencia uma aprendizagem significativa e um desenvolvimento crucial nas habilidades de leitura e interpretação de imagens e situações contextuais. Eles conseguiram notar que os registros marcados pelos termômetros nas duas situações distintas e que a altitude que cada situação está, interfere na situação de ebulição da água. Todos os educandos obtiveram nota 10,0 (dez) nessa atividade, por discorrerem de forma coerente sobre as situações ilustradas e explicando com fundamentações físicas, conforme pode-se notar no Quadro 11 acima.

Abaixo, tem-se a Figura 98 com a resposta discursiva dada por um dos grupos participantes.

Figura 97 – Resposta do grupo 5 (equipe Abrolhos).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Caso queira ver as respostas de todos os grupos digitalizadas, acesse com seu dispositivo celular o QR Code abaixo ou então por meio do Link <https://docs.google.com/document/d/1jy0jqC8OKcn2aPLrmSWpbbPHHNBxBsR9/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



5.9 ATIVIDADE GERAL EM GRUPO

O Quadro 12 abaixo contém as respostas transcritas do questionário de avaliação geral da SD, feito coletivamente pelos membros de cada um dos grupos participantes. Essas transcrições foram feitas de forma literal, incluindo erros gramaticais.

Quadro 12 – Respostas dos grupos participantes.

Perguntas	Resposta Esperada	Resposta dos Grupos
<p>1) O que ocorre com a água, em termos de temperatura, vaporização e quantidade dentro da panela, após a mesma começar a “ferver”, se aumentarmos a intensidade da chama do fogão? Comente também como isso pode contribuir no final do mês para a economia de dinheiro.</p>	<p>Após atingir o ponto de “fervura”, ou ebulição, a água começa a transitar da fase líquida para a gasosa à medida que o fornecimento de calor continua. E durante esse processo, a temperatura permanece constante. Se a chama do fogão estiver “alta”, significa que uma maior quantidade de calor está sendo fornecida a ela, acelerando seu processo de vaporização e reduzindo a quantidade de água líquida dentro da panela de forma mais rápida. Isso também acarreta um consumo desnecessário de gás (e dinheiro), visto que, como sua temperatura na transição de fase permanece constante até que toda o líquido vire vapor, qualquer quantidade mínima de calor é suficiente para sustentar o processo de ebulição da água e cozinhar os alimentos a uma temperatura constante.</p>	<p>Participante da equipe Jubarte: “A temperatura da água não muda após o ponto de ebulição, mudando apenas o seu estado e reduzindo a quantidade de água. Sobre a economia, após atingir o ponto de fervura pode abaixar a intensidade da chama, que a temperatura não irá alterar (economizando gás)”</p> <p>Participante da equipe Gameleira: “Quando a água está em estado de ebulição (vaporização), sua temperatura ficará estável, ou seja, não aumentará e nem diminuirá quando estiver acontecendo a transição de fases, gastando assim dinheiro atoa”</p> <p>Participante da equipe Iemanjá: “A temperatura permanece a mesma, a água vaporiza mais rápido diminuindo a água dentro da panela, assim gastando mais gás e dinheiro no final do mês, porque ao aumenta a intensidade da chama não irá fazer diferença”</p>

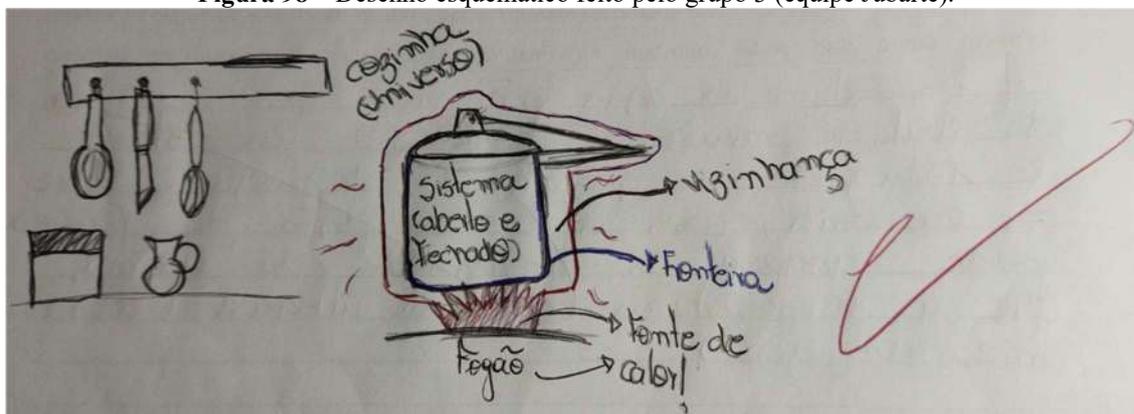
<p>2) Por que a panela de pressão leva um certo tempo para “pegar pressão”? E como essa pressão afeta o tempo de cozimento dos alimentos?</p>	<p>Como a água tem um calor capacidade térmica elevada, ela demora a aumentar sua temperatura. E quando chega no ponto de ebulição, começa a transição da água líquida para a água gasosa, na forma de vapor. A partir daí, a temperatura não mais aumentará e toda energia fornecida na forma de calor servirá apenas para manter o processo de vaporização. Portanto, quando o acúmulo de vapor no interior da panela gera uma pressão suficiente para vencer as contribuições da pressão atmosférica local e da válvula reguladora de pressão da panela, os vapores em excesso escapam por essa válvula, estabilizando a pressão e temperatura no interior da panela de pressão. Portanto, à medida que a pressão interna vai aumentando, a temperatura da água também aumenta, fornecendo mais energia térmica aos alimentos, reduzindo o tempo de cozimento dos mesmos.</p>	<p>Participante da equipe Jubarte: “Pois precisa chegar (atingir) o ponto de ebulição, e essa pressão acelera o tempo de cozimento dos alimentos”</p> <p>Participante da equipe Gameleira: “Depende da temperatura do fogo para começa pegar pressão, Essa pressão faz com que os alimentos tenham o cozimento muito mais rapido do que uma panela normal”</p> <p>Participante da equipe Iemanjá: “Por que o calor específico da água é muito alto. Porque é o ponto da pressão maior que determina o tempo de cozimento”</p>
<p>3) Quais são as principais grandezas físicas responsáveis pelo cozimento dos alimentos? Descreva algumas das reações químicas que ocorrem durante esse processo.</p>	<p>Energia térmica na forma de calor, temperatura e pressão. Durante o processo de cozimento, parte dessa energia térmica é utilizada para dar início a duas reações químicas. Uma delas é a termólise, que é a quebra de moléculas de gordura e proteínas maiores em menores, facilitando o processo de digestão dos alimentos. A outra consiste na reação de Maillard, que é o processo que torna os alimentos crus em cozidos devido à caramelização dos aminoácidos e açúcares presentes nos alimentos, alterando suas texturas, cores e sabores.</p>	<p>Participante da equipe Jubarte: “As principais grandezas físicas são pressão, temperatura e energia. Já as reações químicas são de Maillard (o alimento passa de cru para cozido) e termólise (quebra de proteínas para os alimentos serem mais digestivos)”</p> <p>Participante da equipe Gameleira: “[...] grandezas físicas. Calor e temperatura”</p> <p>Participante do equipe Iemanjá: “Pressão, calor e temperatura. As reações químicas que ocorre é o alimento passar de cru para cozido e ao cozinhar algumas moléculas de gordura e proteínas são quebradas sendo transformadas de grande para pequenas facilitando a digestão”</p>
	<p>A panela de pressão e tudo que há dentro dela, como alimentos, água e ar, é considerado um sistema físico. Quando a panela está com sua válvula reguladora sem funcionamento, o mesmo é caracterizado como um sistema termodinâmico fechado, visto que não há escape de matéria (vapor) para o meio externo, que consiste</p>	<p>Participante da equipe Jubarte: ver Figura 99 a seguir.</p> <p>Participante da equipe Quitongo: ver Figura 100 a seguir.</p> <p>Participante da equipe Iemanjá: “A panela é um sistema físico o externo da mesma é a fronteira, o ar e o fogão formam o meio externo e o todo o universo quando a válvula não sobe é</p>

<p>4) Considerando o cozimento dos alimentos na panela de pressão, descreva em palavras escritas ou por meio de desenhos esquemáticos, quem é considerado o sistema (e de que tipo), quem é o universo, quem é o meio externo, quem é a fronteira, quem é a fonte de calor e quem é a vizinhança.</p>	<p>predominantemente do ar ao redor da panela, mas também de tudo que é externo a ela. No entanto, a partir do momento que essa válvula começa a liberar vapor, esse sistema para a ser caracterizado como aberto. Em ambos os casos há troca de energia na forma de calor, não sendo sistemas isolados. Toda a cozinha (e tudo que está dentro dela, como a própria panela de pressão) pode ser considerada como o universo, que é conjunto geral. Os contornos externos de toda a panela de pressão compõem a fronteira desse sistema e as regiões externas adjacentes a ela são caracterizadas como as vizinhanças desse sistema, que é por onde ocorrem as trocas de energia na forma de calor (por condução e irradiação térmica) e trabalho termodinâmico (quando a válvula se ergue devido à rápida expansão dos vapores) com o meio externo (ar).</p>	<p>um sistema fechado mas quando sobe é um sistema abertp”</p>
<p>5) É muito comum, durante o funcionamento da panela de pressão no preparo dos alimentos, a válvula reguladora de pressão girar enquanto escapa vapor por ela. Além disto, nota-se também o seu chiado característico sempre presente após a panela “pegar pressão”. Comente sobre isso de acordo com os conceitos e fenômenos físicos estudados.</p>	<p>À medida que a água líquida vai vaporizando no interior da panela, o acúmulo do vapor aprisionado vai aumentando cada vez mais e aumentando a pressão interna, que gera aumento na temperatura de transição de fase da água. Quando essa pressão excede o limite estipulado pela válvula reguladora, a mesma sofre a realização de um trabalho termodinâmico por conta desses vapores altamente energizados, que a levanta, desobstruindo a saída. Durante a saída dos vapores pelos orifícios laterais da válvula, surge um torque resultante não nulo, que a faz girar em um sentido. À medida que esses vapores vão escapando para o meio externo, os mesmos empurram o ar ao redor da válvula para longe devido à rápida expansão dos mesmos. Nesse processo, devido ao atrito gerado entre os vapores em expansão e as moléculas de ar ao redor da válvula, parte da energia térmica/cinética dos</p>	<p>Participante da equipe Jubarte: “O movimento rotacional da válvula é devido à um torque gerado pelos vapores que saem pelos orifícios da válvula. Esse chiado surge a partir da perda de energia térmica para sonora”</p> <p>Participante da equipe Quitongo: “O que faz a váuvula girar é o vapor que sai através dela, e o som feito pelo vapor acontece quando o vapor sai pela váuvula. Ou seja, o vapor gera um torque sobre a váuvula e perde parte de sua energia termica para o ar, gerando o som do chiado”</p> <p>Participante da equipe Iemanjá: “Devido a saída do ar na válvula cria-se o torque movimento rotacional é devido ao torque que sai pelo orifício da válvula. A energia perdida térmica vira vibração sonora”</p>

	vapores é dissipada na forma de energia sonora, gerando o chiado que ouvimos da mesma quando ela “pega pressão”.	
--	--	--

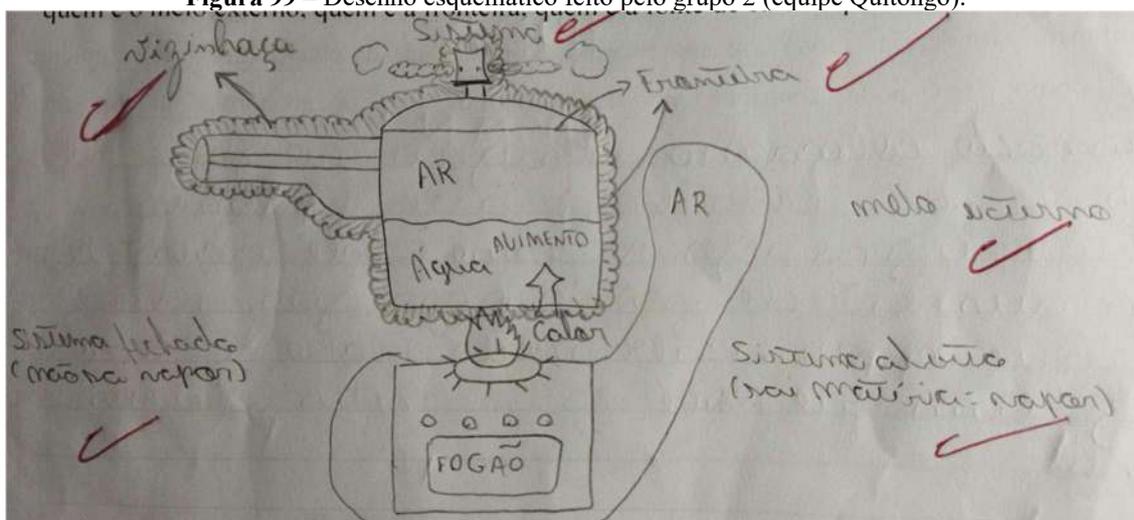
Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

Figura 98 – Desenho esquemático feito pelo grupo 3 (equipe Jubarte).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Figura 99 – Desenho esquemático feito pelo grupo 2 (equipe Quitongo).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A partir da análise qualitativa das respostas dos educandos para as questões propostas no questionário impresso (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022), pôde-se notar algumas respostas mais elaboradas e outras mais simplórias. Contudo, isso reflete uma evolução das aprendizagens de conceitos e fenômenos físicos por parte os educandos referente ao processo de cozimento dos alimentos na panela de pressão. Além disso, alguns educandos conseguiram identificar fenomenologias físicas que não estão associadas diretamente ao processo de cozimento, como o movimento rotacional da válvula reguladora de pressão e o chiado que surge após a panela “pegar pressão”.

Essa abordagem para além do processo de cozimento propriamente dito foi relevante para uma aprendizagem mais abrangente da Física em situações cotidianas, trabalhando a lacuna existente no entendimento do movimento rotacional da válvula reguladora de pressão frisada por Frigo (2022) em suas experiências durante a análise dos dados de sua SD. Além disso, boa parte dos educandos conseguiram compreender conceitos físicos como “sistema”, “sistema aberto”, “sistema fechado”, “meio externo”, “universo”, “fronteira” e “vizinhança”, explicando isso de forma ilustrativa ou textual, conforme as figuras 99 e 100 e o Quadro 12, respectivamente, e que se aproximam do que é representado pela Figura 29. Conceitos esses que muitas vezes são abstratos e que dificultam uma compreensão inicial por parte dos educandos. No entanto, esses conceitos foram amplamente e insistentemente abordados ao longo da SD, principalmente na aula prática experimental com a panela de pressão adaptada.

5.10 ATIVIDADE SOBRE O VÍDEO DA EXPERIÊNCIA DA PANELA DE PRESSÃO ADAPTADA DO IFUSP/SC

O Quadro 13 a seguir contém algumas respostas de educandos que participaram da atividade feita em sala de aula a partir da percepção do vídeo da experiência com a panela de pressão feita por Nunes (2017) no *Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (IFSC/USP)* disponibilizado em seu canal Oficiencia no YouTube.

Quadro 13 – Respostas de alguns educandos em relação às experiências feitas com a panela de pressão no Laboratório de Ciências do CPC e no vídeo por Nunes (2017) na USP de São Carlos.

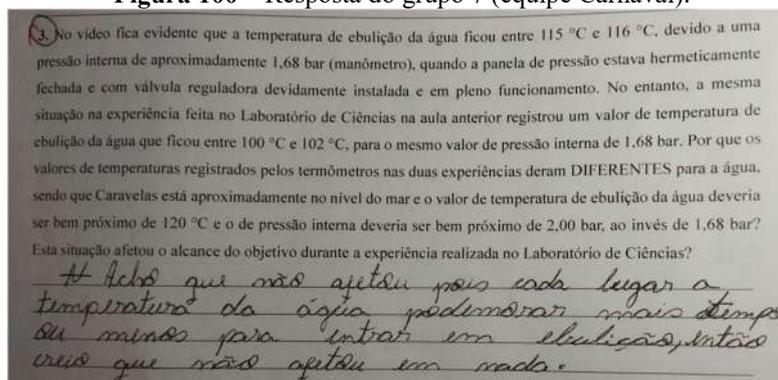
Perguntas	Respostas dos participantes
1) Qual foi o objetivo (finalidade) de cada uma das experiências realizadas? Esses objetivos foram comuns?	<p>Participante da equipe Quitongo: “O objetivo das experiências foi o mesmo foi que agente vise como é o processo de ebulição da água [...]”</p> <p>Participante da equipe Atobá: “Medir a temperatura e a pressão. Ou seja temperatura aumenta e pressão aumenta, que diminui o tempo de cozimento de acordo com o ar atmosférico do local”</p> <p>Participante da equipe Jubarte: “O objetivo é afirmar que a temperatura de ebulição da água está diretamente relacionada com a pressão”</p>
2) O que foi feito em cada uma das experiências realizadas para que as mesmas consolidassem seus objetivos?	<p>Participante da equipe Gameleira: “Ambas adicionaram água na panela de pressão e esperaram até uma certa temperatura (que foram diferentes, tanto no vídeo, quanto na experiência em sala de aula). Na minha opinião, isso aconteceu por conta da pressão atmosférica nos diferentes lugares em que foram feitas”</p> <p>Participante da equipe Iemanjá: “A panela foi adaptada para medir a temperatura interna da panela com a ajuda de</p>

	um termômetro elétrico e com o medidor de pressão verificar que quanto mais o atm sobe a temperatura também aumenta”
<p>3) No vídeo fica evidente que a temperatura de ebulição da água ficou entre 115 °C e 116 °C, devido a uma pressão interna de aproximadamente 1,68 bar (manômetro), quando a panela de pressão estava hermeticamente fechada e com válvula reguladora devidamente instalada e em pleno funcionamento. No entanto, a mesma situação na experiência feita no Laboratório de Ciências na aula anterior registrou um valor de temperatura de ebulição da água que ficou entre 100 °C e 102 °C, para o mesmo valor de pressão interna de 1,68 bar. Por que os valores de temperaturas registrados pelos termômetros nas duas experiências deram DIFERENTES para a água, sendo que Caravelas está aproximadamente no nível do mar e o valor de temperatura de ebulição da água deveria ser bem próximo de 120 °C e o de pressão interna deveria ser bem próximo de 2,00 bar, ao invés de 1,68 bar? Esta situação afetou o alcance do objetivo durante a experiência realizada no Laboratório de Ciências?</p>	<p>Participante da equipe Carnaval: “Acho que não afetou pois cada lugar a temperatura da água podemorar mais tempo ou menos para entrar em ebulição, então creio que não afetou em nada”</p> <p>Participante da equipe Atobá: “Pois muda devido ao ambiente atmosferico do local e o sensor estava escapando água da panela mesmo o homem utilizando de melhores recursos. Não, afetou pois foi possível alcançar o objetivo e fazer com que haja diminuição de tempo de cozimento”</p> <p>Participante da equipe Jubarte: “Os instrumentos usados pelo professor do video foram mais sofisticado, além do mais, a pressão atmosférica da cidade onde estava o professor era diferente, que influencia no resultado”</p>

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

Abaixo, tem-se a Figura 101 com a resposta discursiva dada por um dos grupos participantes.

Figura 100 – Resposta do grupo 7 (equipe Carnaval).



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Caso queira ver as respostas do Quadro 13 digitalizadas, acesse com seu dispositivo celular o QR Code abaixo ou então por meio do Link <https://docs.google.com/document/d/1Wzls0zecz490rQ6xLuBCWGpt8tTayU47E/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



Essas respostas evidenciam que os educandos conseguiram perceber similaridades e distinções entre as duas experiências, como objetivos com a realização das práticas experimentais, os instrumentais utilizados, as diferenças obtidas nas leituras de temperatura e pressão etc. De um modo geral, os resultados que emergiram da análise desses dados apresentados foram satisfatórios e refletem o progresso na aprendizagem e percepção dos educandos.

5.11 ATIVIDADE SOBRE A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA PAINELA DE PRESSÃO NO PhET

Quadro 14 – Transcrições das respostas de alguns participantes.

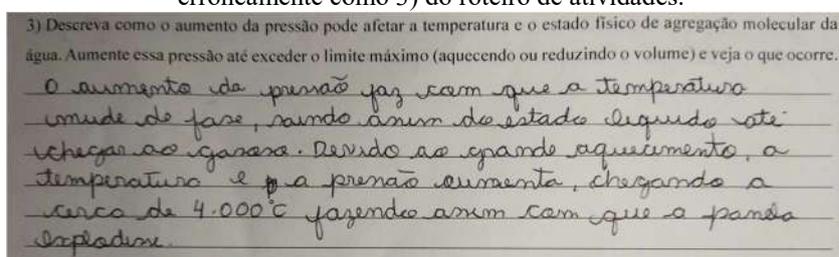
Pergunta	Respostas
<p>2) Descreva como o aumento da pressão pode afetar a temperatura e o estado físico de agregação molecular da água. Aumente essa pressão (aquecendo ou reduzindo o volume) e veja o que ocorre.</p>	<p>Participante da equipe Atobá: “o aumento da pressão faz com que a temperatura mude de fase, saindo assim do estado líquido até chegar ao gasoso. Devido ao grande aquecimento, a temperatura e a pressão aumenta, chegando a cerca de 4.000 °C fazendo assim com que a panela explodisse”</p> <p>Participante da equipe Grauçá: “Notamos que quando a pressão da panela aumenta a temperatura também aumenta, fazendo assim as moléculas ficarem agitadas. E quando mais a temperatura e a pressão aumenta corre risco da panela explodir e também quando aumento ambas grandezas a água sai do seu estado líquido para gasoso”</p> <p>Participante da equipe Jubarte: “O aumento da pressão faz com que a temperatura aumente mais rapidamente. Aumentando a pressão ao máximo, a panela explode”</p>
<p>4) Agora descreva como o aquecimento (“Heat”) e o resfriamento (“Cool”) alteram o comportamento das moléculas de água.</p>	<p>Participante da equipe Jubarte: “Ao aquecer as moléculas ficam super agitadas e espalhadas e ao esfriar as moléculas ficam menos agitadas e ficam juntas”</p> <p>Participante da equipe Abrolhos: “quando aquecida elas ficam separadas em constante movimento e fica muito agitado, sendo ela resfriada ficam mais juntas e mais quietas”</p> <p>Participante da equipe Grauçá: “no heat o aquecimento vai transformar as moléculas de água em vapor por conta da temperatura, já no cool a temperatura vai diminuir assim</p>

	<p>juntando todas as moléculas, assim podendo transformar no estado sólido”</p> <p>Participante da equipe Atobá: “o aquecimento faz com que as moléculas fiquem mais devido a maior pressão e temperatura. No resfriamento a moléculas diminuem a agitação até chegar no ponto de parar”</p>
--	--

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

Abaixo, tem-se a Figura 102 com a resposta discursiva dada por um dos grupos participantes.

Figura 101 – Resposta de um dos educandos do Grupo 8 (Equipe Atobá) referente à questão número 2 (digitada erroneamente como 3) do roteiro de atividades.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Caso queira ver as respostas digitalizadas de todos os grupos que participaram respondendo às questões 2 e 4 do roteiro, acesse com seu dispositivo celular o QR Code abaixo ou então por meio do Link <https://docs.google.com/document/d/1POdWiJQvKXjk5a5AxuTMzTNFuMFheoO/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



Com base nas respostas dos educandos constantes no Quadro 14 acima, nota-se que a prática de simulação computacional utilizando o software PhET foi valiosa para proporcionar aos educandos um momento de manipulação das variáveis que estão associadas ao cozimento dos alimentos na panela de pressão. Além disso, os mesmos puderam utilizar o programa para manipular as variáveis termodinâmicas de modo a causar a explosão da panela de pressão, conforme Figura 68. Com isso, pode-se notar em suas respostas uma aprendizagem mais

consistente devido ao aspecto visual e interativo proporcionado pelo PhET, compreendo melhor a relação entre os estados físicos de agregação molecular e as respectivas temperaturas. Além disso, as transições de fases também foram elementos evidenciados em suas respostas.

Uma resposta interessante referente à questão 2, dada pelos educandos da equipe Jubarte, foi que *“O aumento da pressão faz com que a temperatura aumente mais rapidamente. Aumentando a pressão ao máximo, a panela explode”*. Essa manipulação, controle e observação fez com que os educandos ficassem mais engajados nas fenomenologias ocorridas e na busca por comportamento que pudessem ser identificados e descritos a partir dos conceitos físicos estudados ao longo da SD. Isso reflete a autonomia do educando, conforme preconiza Freire (1987; 2021), como sujeito central e ativo na construção do conhecimento científico.

5.12 ATIVIDADE SOBRE OS VÍDEOS DE ACIDENTES DOMÉSTICOS COM A PANELA DE PRESSÃO

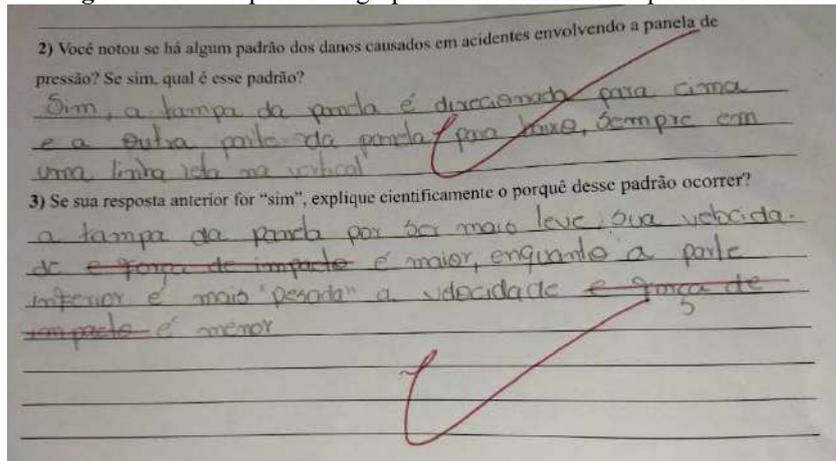
Quadro 15 – Transcrições das respostas de alguns grupos participantes.

Pergunta	Resposta dos Grupos
1) Quais são os possíveis danos materiais que a explosão da panela de pressão pode causar?	Participante da equipe Iemanjá: “Pode afundar a parte onde fica as panelas não sendo possível utilizar mais, a tampa também se danifica, as paredes da cozinha ficam sujas”
2) Você notou se há algum padrão dos danos causados em acidentes envolvendo a panela de pressão? Se sim, qual é esse padrão?	Participante da equipe Jubarte: “Sim, a tampa da panela é direcionada para cima e a outra parte da panela para baixo, sempre em uma linha vertical” Participante da equipe Iemanjá: “Sim. Sempre será verticalmente, afundando a superfície do fogão, a panela indo para baixo e a tampa para cima”
3) Se sua resposta anterior for “sim”, explique cientificamente o porquê desse padrão ocorrer.	Participante da equipe Jubarte: “a tampa da panela por ser mais leve, sua velocidade e força de impacto é maior, enquanto a parte inferior é mais “pesada” a velocidade e força de impacto é menor” Participante da equipe Iemanjá: “Isso ocorre porque a panela tem maior inércia, assim sendo sua aceleração menor e a tampa possui menor inércia e maior aceleração, a energia liberada acelera as duas partes em direções opostas”
4) O que faz uma panela de pressão explodir? Faça uma descrição sobre isso, segundo a Física.	Participante da equipe Jubarte: “Acredito que pode ocorrer por uma série de fatores, como por exemplo colocar água demais na panela, ultrapassando o limite, mal limpeza da borracha ou válvula, ou também o entupimento da mesma” Participante da equipe Quitongo: “o bloqueio da saída do vapor, quando ocorre o bloqueio da valvula e como ele tenta sai pela valvula de segurança onde caso acione ela estive bloqueada ocorre a explosão da panela”

	<p>Participante da equipe Abrolhos: “O bloqueio da saída de vapor da panela de pressão pela válvula localizada na parte superior do utensílio é a principal causa de explosões. Má conservação, falta de limpeza, excesso de líquidos, má vedação e até falhas na fabricação podem ser responsáveis por obstruir a válvula e provocar uma explosão”</p> <p>Participante da equipe Grauçá: “Segundo a física o que faz a panela explodir é a pressão que nela tem, se não liberar o ar que está contido dentro da panela o mesmo cria uma grande pressão e acaba induzindo um acidente que seria a explosão”</p> <p>Participante da equipe Iemanjá: “Pode explodir se houver impedimento na válvula de saída da pressão, isso ocorre quando a muito líquido não possuindo espaço para o vapor se espalhar ou também por motivo de a válvula estar suja isso faz a pressão interna aumentar até que a tampa não suporte e exploda devido à liberação de energia”</p>
--	--

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

Figura 102 – Respostas do grupo Jubarte referente às questões 2 e 3.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Caso queira ver as respostas digitalizadas de todos os grupos que participaram respondendo às questões da atividade, acesse com seu dispositivo celular o QR Code abaixo ou então por meio do Link https://docs.google.com/document/d/1Udc1acKn1tng_8Ilg63Yj89i7mlNGZuXg/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true



As respostas transcritas no Quadro 15 acima mostram uma consolidação das aprendizagens dos educandos. Como se trata da situação da explosão da panela de pressão, o padrão dos danos causados evidencia alguns conceitos físicos, como a questão da inércia dos corpos e sua relação com o movimento devido à aceleração que os corpos (panela e tampa) são submetidos devido à energia liberada na explosão e os fatores que influenciam para tal ocorrência. Os educandos responderam evidenciando e relacionando conceitos como energia, inércia, força, aceleração, pressão etc.

Uma das respostas mais interessantes, referente à questão número 3, foi dada pelos educandos da equipe Iemanjá, que afirmaram o padrão dos danos causados durante a explosão da panela de pressão “[...] ocorre porque a panela tem maior inércia, assim sendo sua aceleração menor e a tampa possui menor inércia e maior aceleração, a energia liberada acelera as duas partes em direções opostas”. Aqui pode-se notar que os educandos fizeram uma aplicação de conceitos e elementos importantes da Mecânica Newtoniana, como a relação da massa (inércia) de cada uma dessas partes com as suas respectivas acelerações e a energia liberada na explosão que as geram, para explicar o motivo da panela e a tampa serem projetadas em direções opostas. Isso reflete uma evolução muito significativa em seus conhecimentos.

5.13 AVALIAÇÃO TEÓRICA INDIVIDUAL

Tabela 9 – Quantidade acertos por questão da atividade com questões voltadas para vestibular, OBF e ENEM.

Questão	Acertos	Percentual de Acertos
1)	09	30,00%
2)	08	26,67%
3)	26	86,76%
4)	15	50,00%
5)	07	23,33%
6)	19	63,33%
7)	16	53,33%
8)	16	53,33%

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

A Tabela 9 mostra a distribuição percentual e do quantitativo de acertos em cada uma das 08 (oito) questões da avaliação final teórica da SD (Apêndice Q). A partir desses dados, pode-se notar que quase todos os educandos conseguiram acertar a questão número 3, que trata de uma questão de uma das edições do ENEM que aborda a fenomenologia do uso da panela de pressão durante o preparo dos alimentos e um gráfico que mostra como a temperatura de ebulição da água varia com o aumento da pressão, devido ao acúmulo de vapor no interior da panela. Trata-se de uma questão conceitual contextualizada e que exige do educando uma

habilidade de leitura e interpretação textual e de gráficos. Esse resultado de quase 87% de acertos reflete uma desenvoltura nessa habilidade específica (código: EM13CNT303) da área de CNT da BNCC de 2018, que estabelece a capacitação dos educandos para

Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações (Brasil, 2018a, p. 559).

Isso foi possível graças às inúmeras atividades de leitura e escrita feitas em sala de aula ao longo da aplicação da SD, em todas as suas três etapas: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento. Além disso, as discussões com os educandos, bem como coloca-los no centro do processo para uma aprendizagem ativa, resultou na melhoria do processo educativo e de suas aprendizagens.

Nessa avaliação só existia uma única questão que exigia dos educandos habilidades matemáticas para resolver uma situação-problema similar à que foi feita em sala de aula durante a parte inicial da atividade experimental com a panela de pressão adaptada, em que os mesmos mediram a massa da válvula reguladora de pressão e o diâmetro interno de saída de vapor do pino central ao qual fica posicionada essa válvula na tampa da panela de pressão, de modo a conhecer as variáveis para a estimativa da pressão interna dessa panela de pressão. Essa é a questão número 5. No caso dessa questão, seu enunciado já fornecia essas variáveis e os educandos tinham apenas que utilizar os conhecimentos matemáticos para resolvê-la. Poucos conseguiram acertá-la. No entanto, essa não foi a questão com menos acertos, como era esperado pelo professor. A questão com menos acertos é uma questão tradicional de vestibular, bem conceitual e sem contextualização alguma. No entanto, não se tratava de uma questão difícil ou com algum tipo de pegadinha.

Tabela 10 – Percentuais de acertos dos educandos na atividade.

Faixa Percentual de Acertos	Quantidade de Educandos	Classificação	Percentual Classificatório
A partir de 70%	06	Bom	20%
De 50% a 69%	09	Regular	30%
Abaixo de 50%	15	Ruim	50%
Total	30	-	100%

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

A partir dos dados constantes na Tabela 10, podemos notar que metade dos 30 (trinta) educandos que fizeram essa avaliação acertaram ao menos 50% do total de 08 (oito) de questões

dessa avaliação. Esse resultado indica uma melhora da aprendizagem dos mesmos sobre os conteúdos de Física trabalhados ao longo da SD e refletem uma apropriação de conceitos e fenômenos físicos presentes nas atividades cotidianas dos mesmos.

Em uma avaliação tradicional de Física, com aulas totalmente conduzidas por metodologias tradicionais expositivas, nessa mesma turma, em unidades letivas anteriores, não teve o mesmo impacto positivo em suas aprendizagens.

Mais de 80% dos educandos da turma ficavam abaixo dos 50% de acertos em questões de provas teóricas institucionais. Portanto, houve uma melhora significativa, ainda que a outra metade dos educandos, infelizmente, tenha ficado abaixo dos 50% de acertos. Mas nem tudo são apenas flores. O processo educativo requer planejamento, tempo, empatia, paciência, resiliência, auto avaliação e persistência por parte do professor. Só assim podemos, enquanto professores educadores, aprimorar nossas práticas educativas e melhorar pontos relevantes de nossas abordagens pedagógicas.

Caso queira ver essas avaliações digitalizadas com as respostas de todos os educandos, acesse o CR Code abaixo ou por meio do Link de acesso <https://drive.google.com/file/d/1szKddApph_vRr2wbHmJKMt_EbUmoUhCh/view?usp=sharing>. Os nomes dos educandos participantes foram apagados com corretivo fita para preservar suas identidades, conforme presente no TCLE disposto no Apêndice B.

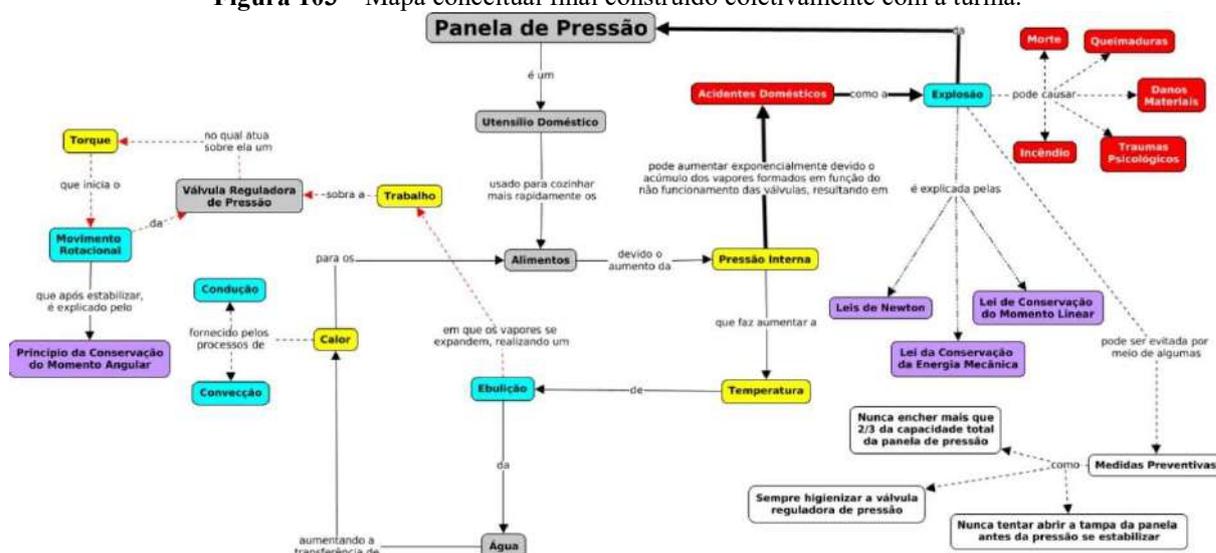


5.14 ATIVIDADE COLETIVA DE CONSTRUÇÃO DO MAPA CONCEITUAL SOBRE A FÍSICA DA PANELA DE PRESSÃO

A partir dos conhecimentos construídos ao longo da SD, os educandos fizeram a seleção de palavras-chave que consideraram relevantes para a criação do mapa conceitual. A partir de um diálogo com os educandos, as palavras foram sendo mencionadas, discutidas e inseridas no programa online para, posteriormente, a partir da análise dos próprios educandos, estabelecer as conexões entre os termos, seguindo os critérios da “Teoria dos Mapas Conceituais” proposta por Moreira (2010).

A Figura 103 ilustra o mapa conceitual coletivo reeditado e reorganizado, totalmente finalizado. Esse mapa conceitual, construído coletivamente com as participações ativa os educandos (Freire, 1987; 2021; Moreira, 2010), está em acordo com o mapa conceitual feito pelo Autor (2024) que pode ser visto na Figura 24. Nele, as colorações azul são para destacar fenômenos físicos, as vermelha para representar consequências do risco da explosão da panela de pressão, as roxas para representar princípios físicos, as amarelas para representar grandezas físicas, as cinzas para representar objetos concretos, e as brancas para representar as medidas preventivas quanto ao uso da panela de pressão para evitar acidentes.

Figura 103 – Mapa conceitual final construído coletivamente com a turma.



Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

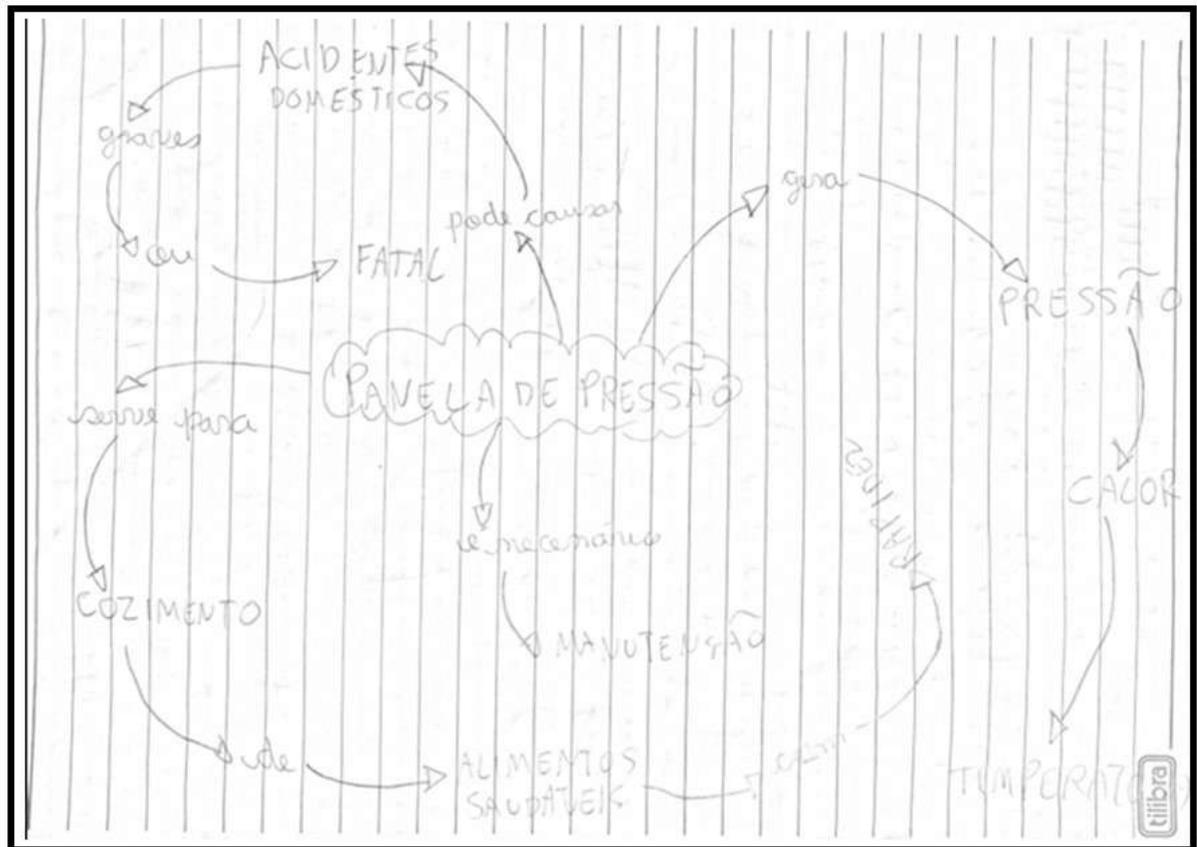
Segundo Moreira (2010), os mapas conceituais são ferramentas valiosas que promovem uma aprendizagem significativa. Nesse viés, eles também podem ser utilizados no processo educacional para se avaliar as aprendizagens dos educandos no Ensino de Física (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022).

A partir do mapa conceitual ilustrado na Figura 103, pode-se notar uma evolução significativa nas aprendizagens dos educandos. Apesar do mapa conceitual ter sido feito de forma conjunta com todos os educandos, os mesmos contribuíram ativamente fornecendo elementos valiosos de suas aprendizagens ao longo da SD para a construção do mapa conceitual. Esse mapa conceitual reflete a aprendizagem da turma como um todo e indica uma ascendência da aprendizagem. Um destaque especial para os elementos “Leis de Newton”, “Princípio da Conservação do Momento Linear” e “Princípio da Conservação da Energia Mecânica” como conceitos indicados para explicar o fenômeno físico da explosão da panela de pressão. Além disso, aspectos associados às questões de riscos e medidas preventivas quanto

ao uso da panela de pressão refletem uma consolidação das aprendizagens baseadas na “Alfabetização Técnica” de Bazin (1977a) e podem ser identificados no mapa conceitual.

A Figura 104 mostra um esboço inicial de um dos mapas conceituais que um dos educandos fez momentos antes do início da construção do mapa conceitual coletivo (Figura 104).

Figura 104 – Esboço de um mapa conceitual feito à mão por um dos educandos momentos antes do início da construção do mapa conceitual coletivo.



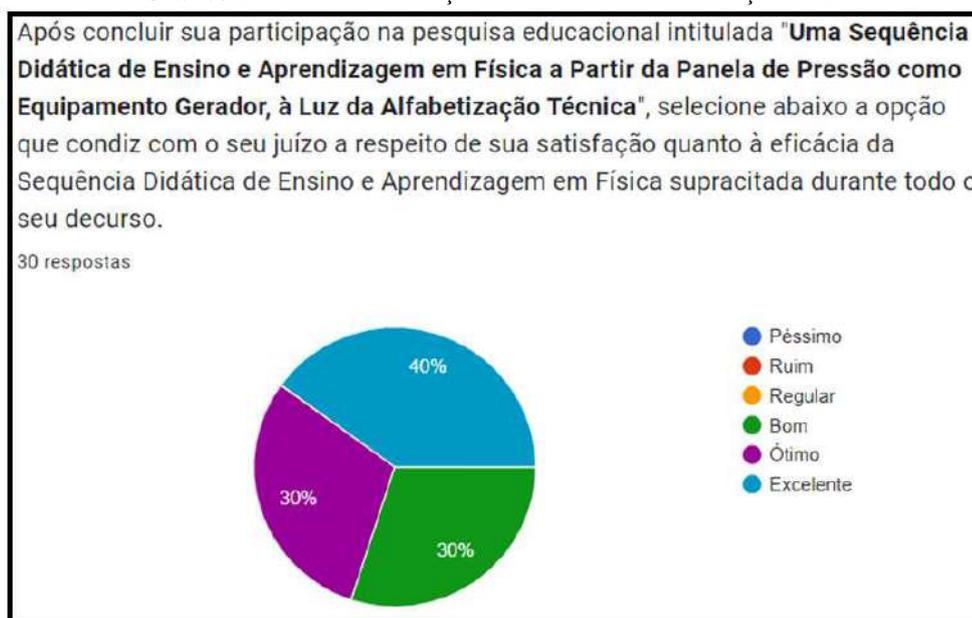
Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A análise desse mapa (Figura 104) reflete o processo de consolidação das aprendizagens dos conceitos e fenômenos físicos associados ao uso da panela de pressão durante o cozimento dos alimentos, bem como quanto ao reconhecimento da importância de submeter este utensílio domésticos à manutenções preventivas regulares para se evitar acidentes domésticos, conforme consta no Quadro 4. Além disso, pode-se entender que a panela de pressão gera uma pressão adicional, devido à ação do calor fornecido à ela, aumentando a pressão interna, que aumenta a temperatura de ebulição da água e, conseqüentemente, cozinhando os alimentos mais rapidamente. Essa foi a mensagem que o educando quis passar quando confeccionou o mapa conceitual da Figura 104.

5.15 FEEDBACKS PEDAGÓGICOS DOS EDUCANDOS

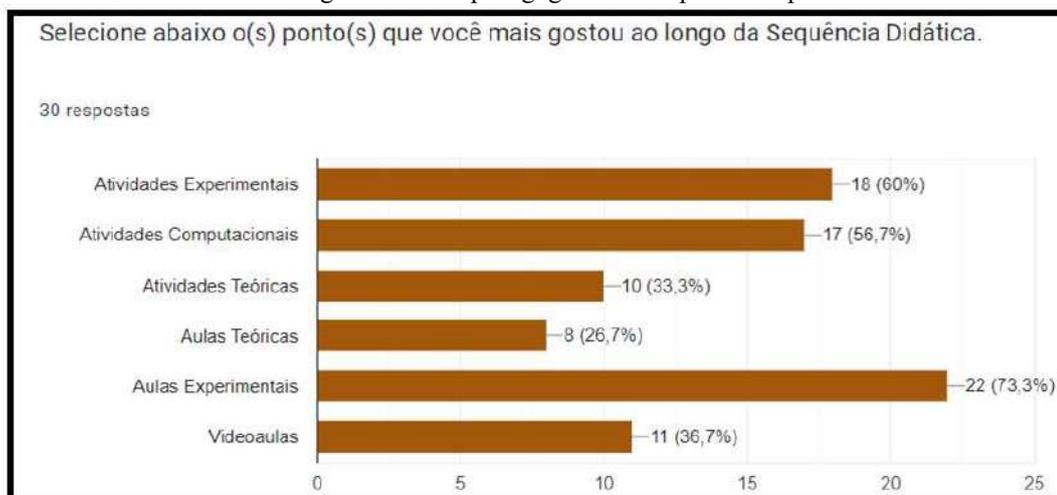
Esta seção deste subcapítulo apresenta as análises e discussões realizadas sobre as respostas dos educandos por meio do questionário de feedback pedagógico (Apêndice R) ao final da aplicação da SD. Considerou-se aqui como recurso de análise os métodos estatísticos e qualitativos.

Gráfico 2 – Nível de satisfação dos educandos com relação à SD.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

O Gráfico 2 evidencia a eficácia da SD de acordo com as experiências e avaliações dos próprios educandos. Nota-se que a mesma foi avaliada entre “Bom (30%)” e “Excelente (40%)”, não causando nenhum tipo de insatisfação a nenhum dos educandos, em sua integralidade. Isso é reflexo de uma SD bem projetada, apesar de longa, que aborda diversos fenômenos físicos por meio de um “*Equipamento Gerador*” (Bastos, 1990) tão comum em seus cotidianos, como foi o caso da painha de pressão, por meio de um processo de “*Alfabetização Técnica*” (Bazin, 1977a) eficiente e condizente com suas realidades e vivências de mundo. E as aulas e atividades práticas experimentais foram as que mais motivaram e engajaram os educandos na compreensão do entendimento das fenomenologias presentes no simples ato de cozinhar com a painha de pressão, estabelecendo conexões com a realidade por meio de reflexões abrangentes e críticas a partir das experiências executadas em sala de aula e no Laboratório de Ciências do CPC. O Gráfico 3 ilustra a preferência da maioria dos educandos por abordagens voltadas mais para a prática e a “mão na massa”.

Gráfico 3 – Abordagens didático-pedagógicas mais apreciadas pelos educandos.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

O Gráfico 3 evidencia as predileções dos educandos com relação aos tipos de abordagens metodológicas utilizadas durante a aplicação da SD. As atividades de cunho experimental, envolvendo a panela de pressão adaptada, bem como as atividades realizadas no Laboratório de Informática no qual foram feitas simulações computacionais de sistemas físicos similares à panela de pressão, representaram uma maior e melhor aceitação dos educandos, pois elas possibilitando ao mesmo serem “*sujeitos centrais e ativos*” (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021; Freire, 1987; 2021; Delizoicov, 1982; 1983; Bastos, 1990; 1995; Bazin, 1977; Delizoicov; Muenchen, 2013; Carvalho *et al.*, 2013; Auth *et al.*, 1995; Araújo, 2021; Ferreira; Santos, 2017; Gaspar, 2014; Mion, 2002; Oliveira *et al.*, 2017; Santos; Oliveira; Queiroz, 2021) no processo de investigação e construção coletiva dos conhecimentos físicos necessários para o entendimento do(s) fenômeno(s) físico(s) estudados.

Gráfico 4 – Nível de satisfação dos educandos com relação aos seus conhecimentos prévios e construídos, bem como sobre as contribuições da SD para o desenvolvimento humano dos mesmos.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A partir da análise do Gráfico 4, pode-se notar uma evolução da aprendizagem dos educandos ao longo da SD, sobretudo quanto à auto comparação entre seus conhecimentos prévios logo no início da SD e os conhecimentos científicos construídos ao longo de toda SD. Além disso, os mesmos ponderaram que a SD proposta e aplicada teve impacto positivo em suas aprendizagens devido a sua contribuição para o desenvolvimento de suas habilidades e competências científicas sobre o uso consciente e seguro da panela de pressão, conforme estabelece a BNCC de 2018 para o NEM, principalmente no que tange à habilidade EM13CNT306, que preconiza ao educando, a partir dos conteúdos curriculares estudados, poder

avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos (Brasil, 2018a, p. 559).

Essa habilidade proposta na BNCC de 2018 está alinhada com o que é proposto também por Bastos (1990). Angotti, Bastos e Mion (2001) e Bazin (1977a), que ponderam a relevância do conhecimento científico no entendimento de equipamentos do uso cotidiano, bem como sua manipulação adequada por meio da “alfabetização técnica” (Bazin, 1977a).

O Quadro 16 contém algumas transcrições das respostas de alguns educandos sobre suas percepções a respeito de suas experiências ao longo da SD. As transcrições foram feitas de modo literal, do mesmo jeito que os mesmos escreveram na avaliação, contando erros gramaticais, tipo de letra etc., para uma leitura mais realista de suas “falas”, considerações e ponderações.

Quadro 16 – Trechos das respostas de alguns educandos a respeito de suas percepções sobre a SD, por meio da avaliação de feedback pedagógico.

Pergunta	Resposta
Quais aspectos desta Sequência Didática foram mais úteis ou valiosos para você?	<p>“FORAM AS AULAS PRATICAS QUE AJUDARAM A TER MIAS FACILIDADE NO APRENDIZADO”</p> <p>“As atividades teórica”</p> <p>“As atividades experimentais”</p> <p>“Saber melhor como uma panela de pressão funciona e como devemos usa-la de forma correta. Acredito que será muito útil quando for cozinhar no futuro”</p> <p>“Particularmente gosto muito de física, então contribuiu muito para que entenda melhor sobre o assunto, acredito</p>

	<p>que os cálculos e os conceitos foram muito valiosos para mim”</p> <p>“Gostei mais do jeito que o professor ensinou e consegui entender melhor sobre o assunto”</p> <p>“Tinha medo da panela de pressao antes das aulas agora sabendo quais são as medidas corretas e como a panela funciona sera um conhecimento de muita importância”</p> <p>“Acho que o mais útil foi saber como acontece a explosão da panela de pressão, pois eu achava que era de outra forma”</p> <p>“pra mim foi aprender um pouco sobre os riscos que ocorreremos com a panela de pressao e entender o que podemos prevenir a situacao”</p>
<p>O que você sugere para melhorar a Sequência Didática?</p>	<p>“No meu ponto de vista a SD está muito boa assim”</p> <p>“Ter menos atividades de escrever”</p> <p>“Ter menos atividades de escrever”</p> <p>“Não sugiro nada, porquê pra mim foi ótimo”</p> <p>“Acho que não precisa de muita coisa para melhorar, mas gostaria de ter mais aulas teóricas”</p> <p>“Aulas experimentaias e mais leves como essas”</p> <p>“Ter mais aulas experimentais, não que n tenha,mais ter mais”</p> <p>“Interação e diálogo mais simplicado com os alunos”</p> <p>“A maneira aplicada ja esta boa”</p> <p>“Na minha opinião, foi muito bom não precisa melhorar”</p> <p>“As aula foram boas gostei bastante muito interessante!”</p> <p>“menos aula teorica”</p>
<p>Tem alguma(s) coisa(s) da Sequência Didática que você gostaria de ter nas aulas de Física com mais frequência? Se sim, diga o que é(são).</p>	<p>“Aulas práticas. São mais divertidas e prazer um olhar diferente para a matéria que muitas vezes é vista como "chata" ou "difícil", fazendo assim com que mais e mais alunos se interessem por ela”</p> <p>“Os próprios experimentos, que ajudam a entender com mais muito mais”</p> <p>“Aulas práticas, observar alguns fenômenos físicos com nossos próprios olhos, acredito que facilita muito na hora do entendimento”</p> <p>“Sim, as aula experimentais”</p> <p>“Experiências nos laboratórios”</p> <p>“mais experimentos”</p>

	<p>“Simmm.menos teoria e mais aula prática no computador”</p> <p>“Mais aulas teóricas”</p> <p>“Aulas mais dinâmica como a da sala de informatica e atividades em grupo”</p> <p>“Aulas mais dinâmica como a da sala de informatica e atividades em grupo”</p>
--	--

Fonte: Produzido pelo Autor (2024) a partir dos dados da pesquisa.

A partir da análise das respostas dos educandos apresentadas no Quadro 16, pode-se notar uma diversidade de percepções e considerações feitas pelos mesmos. No entanto, uma que se destaca mais é a predileção da maioria dos educandos por aulas e atividades experimentais (conforme é pode ser visto Gráfico 3), utilizando mais situações práticas em que os fenômenos físicos podem ser visualizados e compreendidos a partir da experiência coletiva e ativa dos educandos, despertando mais o interesse dos mesmos pelos conteúdos curriculares a serem abordados no ambiente escolar. No total, foram 43,33% dos educandos que tiveram essa percepção e consideração voltada para as práticas experimentais.

Já as atividades computacionais, envolvendo simulações de fenômenos físicos, foram as que apareceram em segundo lugar, representando 13,33% da predileção dos educandos. Esse tipo de abordagem se mostrou bastante engajador no dia de sua realização no Laboratório de Informática do CPC, pois possibilitou aos educandos a manipulação total das variáveis associadas à situação fenomenológica similar ao que ocorre na realidade com a panela de pressão, inclusive, simulando sua explosão e descobrindo quais fatores influenciaram para tal ocorrido e como evita-los.

Em contrapartida, e como já era de se esperado, as aulas e atividades teóricas tiveram uma menor “aceitação” por parte dos educandos. No entanto, 6,67% dos educandos gostaram mais dessa abordagem, inclusive focando mais a parte matemática para descrever situações fenomenológicas cotidianas, como foi o caso da panela de pressão e a Física envolvida em seu funcionamento durante o cozimento dos alimentos.

A questão associada ao funcionamento técnico da panela de pressão, bem como os conhecimentos técnicos associados ao seu manuseio, foram o fator que mais fizeram os educandos reconhecerem a relevância social da presente proposta para suas vidas cotidianas e seus aprendizados de modo geral. Ao todo, foram 63,33% dos educandos que mencionaram suas percepções e considerações a respeito de situações como entender a fenomenologia física por trás do funcionamento da panela de pressão no preparo dos alimentos, e dos conhecimentos técnicos que lhes permitem um uso mais consciente e responsável deste utensílio doméstico,

como os riscos associados ao seu uso e as medidas preventivas para tais riscos, conforme estabelece Bazin (1977a) e Bastos (1990). Muitos se mostraram surpresos com relação às motivações associadas à explosão da panela de pressão e contentes com os conhecimentos preventivos discutidos em sala de aula.

Portanto, analisando todas as respostas do questionário aplicado, pôde-se notar as satisfações latentes e evidentes da grande maioria dos educandos com a SD propostas e executada, com alguns ponderando e sugerindo poucas alterações na mesma. Com isso, a SD desenvolvida foi exitosa em sua proposta aos cumprir com seus objetivos geral e específicos, que vão desde a compreensão física das fenomenologias ocorridas durante o cozimento dos alimentos, bem como o desenvolvimento de competências e habilidades essenciais que possibilitem aos educandos uma melhor leitura e escrita de mundo, preparando-os para o pleno exercício da cidadania e o mundo do trabalho, conforme preconizam a BNCC (Brasil, 2018a) e o DCRB (Bahia, 2022).

Infelizmente, como a avaliação de feedback pedagógico dos educandos foi realizada pelo Google Forms com uma conta gmail vinculada à SEC/BA, ao qual é a conta profissional do professor, a mesma não pode ser compartilhada com usuários que não sejam vinculados à SEC. No entanto, o Link de acesso é <https://forms.gle/iC8T2wGgVZcm3jUk8>, caso queira tentar abrir para visualizar o questionário no formato do Google Forms.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

A presente pesquisa apresenta uma proposta de um Ensino de Física humanizado e contemporâneo (Santos; Oliveira; Queiroz, 2021; Munakata, 2009; Oliveira *et al.*, 2017; Ferreira; Santos, 2017), embasada nos princípios filosóficos da abordagem educacional dialógico-problematizadora (Freire, 1987; 2020; 2021; Mion, 1996; Solino; Gehlem, 2015; Bastos, 1995; Araújo, 2021; Delizoicov; Muenchem, 2013). O objetivo central é utilizar os "*Equipamentos Geradores*" (Bastos, 1990; Auth *et al.*, 1995; Angotti, Bastos e Mion, 2001; Neves e Auth, 2023) no contexto da "*Alfabetização Técnica*" (Bazin, 1977a) e estruturá-los dentro da dinâmica metodológica dos "*Três Momentos Pedagógicos*" (Delizoicov; Angotti, 1990), promovendo uma educação que valoriza a liberdade e as visões de mundo dos educandos. Esta abordagem coloca os estudantes como protagonistas no processo de ensino e aprendizagem, tornando-os agentes ativos na construção do conhecimento científico.

Além disso, a epistemologia de Bachelard (1991; 1996), especialmente os conceitos de "*Obstáculos Epistemológicos*" e "*Rupturas Epistemológicas*", foi aplicada na metodologia e análise dos dados. Durante o processo de ensino, observou-se que muitos educandos tinham a concepção errônea de que calor, temperatura e energia térmica eram grandezas sinônimas. No entanto, ao longo da SD, os estudantes romperam com essas ideias iniciais e passaram a desenvolver uma compreensão científica mais precisa desses conceitos físicos.

As concepções prévias dos alunos, atuando como barreiras conceituais (Obstáculos Epistemológicos), emergiram durante as observações e respostas dos estudantes nas aulas e atividades. Foi, portanto, essencial criar um ambiente de aprendizagem que valorizasse a curiosidade e o questionamento, proporcionando uma base sólida, por meio de experimentos, demonstrações e simulações computacionais, para romper essas barreiras e facilitar a compreensão teórica dos fenômenos físicos observados no funcionamento da panela de pressão durante o cozimento dos alimentos (Bachelard, 1991). Esse processo ajudou os educandos a superarem concepções inadequadas e a desenvolverem uma compreensão mais consistente desses fenômenos térmicos e mecânicos (Bachelard, 1991; 1996), tornando o aprendizado mais significativo para suas vidas (Freire, 1987; 2021; Delizoicov, 1983; Moreira, 2010; 2018b; Bastos, 1990; Bazin, 1977a; José; Darlon, 2022; Mion, 1995; 1996; 2002; Neves; Auth, 2023).

A LDB e a BNCC, como documentos normativos, definem que a Educação Básica visa o pleno desenvolvimento dos educandos nas dimensões física, cognitiva e socioemocional, preparando-os para a cidadania plena e para o mundo do trabalho, por meio do desenvolvimento de competências e habilidades (Brasil, 1996; 2018a). A partir dessa diretriz, o cerne desta

pesquisa foi investigar as contribuições de uma SD voltada à temática "*A Física na Cozinha*" (Migliavacca; Witth, 2014; Rosa *et al.*, 2020), utilizando o acervo cultural culinário de Caravelas-BA (Delizoicov, 1983; Pernambuco, 1981). A panela de pressão, um utensílio comum no cotidiano dos estudantes, foi explorada como ferramenta pedagógica para abordar diversos conceitos físicos associados ao cozimento dos alimentos (Nunes, 2017), promovendo também aprendizagens técnicas essenciais para uma melhor leitura de mundo (Bazin, 1977a).

Ao longo da SD, aulas teóricas, experimentais e computacionais proporcionaram uma aprendizagem contextualizada, promovendo o engajamento dos estudantes (Souza; Santos, 2019; Galvão, 2016; Luckesi, 2011; Rosa; Pires, 2022). A análise qualitativa dos dados (Paschoarelli; Medola; Bonfim, 2018; Gil, 2015; Creswell; Creswell, 2021; Lakatos; Marconi, 2021; 2022a; 2022b) refletiu o progresso no ensino e aprendizagem da Física envolvida no processo de cozimento na panela de pressão, além dos aspectos técnicos da "*Alfabetização Técnica*" (Bazin, 1977a; José; Darlon, 2022; Auth *et al.*, 1995; Angotti; Bastos; Mion, 2001).

Com base nas atividades desenvolvidas, os estudantes também foram capacitados a analisar criticamente informações do cotidiano, como uma propaganda de uma "panela de pressão de pedra", desprovida de elementos essenciais para a segurança, como a borracha de vedação e a válvula reguladora de pressão. Essa análise crítica, embasada nos conhecimentos adquiridos, permitiu que os educandos identificassem a incoerência da propaganda, evitando a compra de um produto ineficaz (Freire, 1987; 2020; 2021). Além disso, eles compreenderam que, devido à espessura da panela de pedra, o aquecimento seria mais lento, reforçando a Lei de Fourier da condução do calor (Chaves; Sampaio, 2007; Nussenzveig, 2014b).

A proposta da SD pode ser ajustada por outros professores, de acordo com suas necessidades e objetivos de aprendizagem. Atividades específicas podem ser suprimidas sem afetar a essência da proposta, como a adaptação de uma mini-SD que compare a experiência com a panela de pressão adaptada por Nunes (2017), disponível em seu canal do YouTube.

Conclui-se que o uso da panela de pressão como "*Equipamento Gerador*" (Bastos, 1990) é um recurso didático-pedagógico eficaz tanto para o ensino de física quanto para a promoção da "*Alfabetização Técnica*" (Bazin, 1977a), capacitando os educandos para o exercício pleno de sua cidadania e para o mundo do trabalho (Brasil, 2018a; Bahia, 2022). A SD implementada atendeu aos objetivos gerais e específicos da pesquisa, como também às metas de aprendizagem dos educandos. O feedback pedagógico (Apêndice R) fornecido pelos alunos validou a eficácia da proposta. Assim, esta pesquisa sugere que o uso de abordagens mistas entre teoria e prática, contextualizadas pelo uso da panela de pressão, é um recurso valioso para o desenvolvimento educacional, contribuindo para a formação integral dos

educandos em âmbitos técnicos e científicos que poderão ser aplicados em suas vidas. As metodologias ativas, como os “*Três Momentos Pedagógicos*” (Delizoicov; Angotti, 1990), a Alfabetização Técnica (Bazin, 1977a) e os “*Equipamentos Geradores*” (Bastos, 1990), demonstram ser formas eficazes de tornar o Ensino de Física mais democrático e participativo, lançando luz sobre possíveis caminhos para transformar o cenário educacional, especialmente nas escolas públicas (Nascimento, 2010; Moreira, 2000; Costa; Barros, 2019).

REFERÊNCIAS

- ABREU, B. A.; FREITAS, N. M. S. **Proposições de inovação didática na perspectiva dos três momentos pedagógicos**: tensões de um processo formativo. *Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 19, 2017. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/1983-21172017190123>>. Acesso em: 28 ago. 2023.
- ALAM, S. T. **Moment of force**: torque, types, unit, formula, direction, application and solved questions. *Collegedunia*, Porto Alegre, 17, abril, 2023. Disponível em: <<https://collegedunia.com/exams/moment-of-force-physics-articleid-500>>. Acesso em: 11 ago. 2023.
- ANGOTTI, J. A. P.; BASTOS, F. da P. de; MION, R. A. **Educação em física**: discutindo ciência, tecnologia e sociedade. *Revista Ciência & Educação*, v. 7, n. 2, p. 183-197, 2001. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/DJGr7qwnSHx8BdgPsgk58fN/?format=pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2023.
- ARAÚJO, J. B. R. **A pedagogia freiriana e o ensino de física**: um relato de experiência. *Revista Brasileira de Educação Básica*, Belo Horizonte, v. 6, número especial, p. 1-9, 2021. Disponível em <<https://rbeducacaobasica.com.br/a-pedagogia-freiriana-e-o-ensino-de-fisica-um-relato-de-experiencia/>>. Acesso em: 19 set. 2022.
- ARENZON, J. J. **Notas de aulas de Física III**: transferência de calor. Instituto de Física da UFRGS, 6, novembro, 2020. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~arenzon/fis183/aula07.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2024.
- Assessoria de Comunicação do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Ceará (Ascom CBMCE). **Corpo de Bombeiros orienta sobre cuidados no uso de panela de pressão**. *Bombeiro.ce*, 13, junho, 2021. Disponível em: <<https://www.bombeiros.ce.gov.br/2021/06/13/corpo-de-bombeiros-orienta-sobre-cuidados-no-uso-de-panela-de-pressao/#:~:text=Dicas%20para%20evitar%20acidentes%201%20Manuten%C3%A7%C3%A3o%20Manter%20a,ap%C3%B3s%20os%20alimentos.%20...%203%20P%C3%B3s%20uso%20>> Acesso em: 17 jul. 2023.
- AUTH, M. A. *et al.* **Prática educacional dialógica em física via equipamentos geradores**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 12, n.1, p. 40-46, abr. 1995. Disponível em: <<https://antigo.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7138/6594>>. Acesso em: 03 abr. 2022.
- AXT, R.; BRUCKMANN, M. E. **O conceito de calor nos livros de ciências**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 128-142, 1989. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/84904/000014820.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 mar. 2023.
- BABINI, M. **A física da panela de pressão**. *Uma física*, 9, setembro, 2021a. Disponível em: <<https://umafisica.wordpress.com/2021/09/09/a-fisica-da-panela-de-pressao/>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

_____. **Física salva**: como usar painéis de pressão. Uma física, 10, setembro, 2021b. Disponível em: <<https://umafisica.wordpress.com/2021/09/09/a-fisica-da-panela-de-pressao/>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

BACHELARD, G. **A filosofia do não**. 5. ed. Rio de Janeiro: Contraponto, 1991.

_____. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BAHIA. Secretaria da Educação do Estado. **Documento curricular referencial da bahia**: etapa ensino médio. Salvador, 2022. Disponível em: <<http://dcrb.educacao.ba.gov.br/dcrb-volume-2-orientacoes-de-estudos-sobre-o-dcrb-ensino-medio-e-sua-implementacao/>>. Acesso em: 17 maio 2023.

BARBOSA, I. N. A. **O sabor das ciências**: o ensino de química por investigação no ifnmg. 2022. 186 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências, Matemática e Tecnologia) – Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2022. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/bitstream/1/3055/1/isadora_nogueira_arcanjo_barbosa.pdf>. Acesso em: 29 set. 2023.

BARRETO, S. N. **Físico-química na cozinha**. 2009. 55 f. Monografia (Licenciatura em Química) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/6532/1/Silviane%20Nunes%20Barreto.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

BASTOS, F. P. de. **Alfabetização técnica na disciplina de física**: uma experiência educacional dialógica. 1990. 251 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1990. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/75622?show=full>>. Acesso em: 22 set. 2022.

_____. **Pesquisa-ação emancipatória e prática educacional dialógica em ciências naturais**. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/000741901>>. Acesso em: 09 set. 2022.

BAZIN, M. O cientista como alfabetizador técnico. In: ANDERSON, S.; BAZIN, M. **Ciência e (in)dependência**: o terceiro mundo face à ciência e tecnologia. Lisboa: Livros Horizonte, 1977a, v. 2, p. 94-98. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/651/2022/10/O-cientista-como-alfabetizador-tecnico-Ao-lado-dos-trabalhadores-chilenos-Maurice-Bazin.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

_____. Ao lado dos trabalhadores chilenos: vivendo e ensinando a ciência para o povo. In: ANDERSON, S.; BAZIN, M. **Ciência e (In)dependência**. Lisboa: Livros Horizonte, 1977b, v. 2, p. 99-110. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/651/2022/10/O-cientista-como-alfabetizador-tecnico-Ao-lado-dos-trabalhadores-chilenos-Maurice-Bazin.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

BECKER, F. **A epistemologia do professor**: o cotidiano da escola. 12. ed. Petrópolis: Vozes, 2005.

BEZERRA, D. P. *et al.* **A evolução do ensino de física: perspectiva docente.** Revista Scientia Plena, Fortaleza, v. 5, n. 9, p. 1-8, 2009. Disponível em: <<https://www.scientiaplenua.org.br/sp/article/view/672>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BONIN, J. A. Nos bastidores da pesquisa: a instância metodológica experienciada nos fazeres e nas processualidades de construção de um projeto. *In: Metodologias de pesquisa em comunicação: olhares, trilhas e processos.* Porto Alegre: Sulina, 2006.

BRAGA, J. P. **Termodinâmica estatística de átomos e moléculas.** São Paulo: Livraria da Física, 2013.

BRANDÃO, G. K. L. *et al.* **Educação ambiental crítica na escola: o calor da panela de pressão na economia de gás de cozinha.** Revista Educação Ambiental em Ação, Fortaleza, v. 18, n. 69, online, 2019. Disponível em: <<https://revistaea.org/artigo.php?idartigo=3832>>. Acesso em: 24 ago. 2023.

Brasil registra mais de mil acidentes com panela de pressão por ano. Pirapop notícias, Piracicaba, 11, março, 2023. Disponível em: <<https://pirapop.com.br/brasil-registra-mil-acidentes-panela-pressao/>>. Acesso em: 17 abr. 2023.

Brasil tem 1.200 acidentes com painelas de pressão por ano. Record News. Youtube, 07, maio e 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=RxiEyQOwHZ4>. Acesso em: 31 ago. 2023.

BRASIL. **Acidentes de consumo.** Brasília: MEC/SEB, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/acidentes-de-consumo>>. Acesso em: 17 abr. 2023.

_____. **Constituição da república federativa do brasil.** Brasília: Senado Federal, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 30 ago. 2023.

_____. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm>. Acesso em: 11 jan. 2022.

_____. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Base nacional comum curricular - educação é a base: competências e habilidades específicas em ciências da natureza e suas tecnologias no ensino médio.** Brasília: MEC/CNE, 2018a. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#medio/a-area-de-ciencias-da-natureza-e-suas-tecnologias>>. Acesso em: 27 nov. 2022.

_____. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Básica. Resolução CNE/CEB nº 3, de 21 de novembro de 2018b. **Atualiza as diretrizes curriculares nacionais para o ensino médio.** Diário Oficial da União, Brasília, 22 nov. 2018. Seção 1, p. 32-33. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/docman/novembro-2018-pdf/102481-rceb003-18/file>>. Acesso em: 29 jul. 2023.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: MEC/SEMTEC, 1999. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2022.

BREITMAN, G. **Malcom x fala: os discursos do último ano de vida de Malcom X**. São Paulo: Ubu Editora, 2021.

CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **As faces da física**. São Paulo: Moderna, 1997.

CARSON, C.; SHEPARD, K. **Um apelo à consciência: os melhores discursos de Martin Luther King**. Rio de Janeiro: Zahar, 2006.

CARVALHO, A. M. P. de *et al.* **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CERDEIRA, T. S. T. **Física do cotidiano com enfoque em segurança**. 2015. 71 f. Monografia (Licenciatura em Física) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/4925/Tamiris%20Cerdeira.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 21 jun. 2023.

CHAGAS, J. F. B. *et al.* **Usando a panela de pressão para aprender ciências**. Anais do V Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino de Ciências... Campina Grande: Realize Editora, 2020. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/73028>>. Acesso em: 24 jul. 2023.

CHAVES, A; SAMPAIO, J. F. **Física básica: gravitação, fluídos, ondas, termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 2007. v. 2.

_____. **Física básica: mecânica**. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 1.

CHIARELLI, A. *et al.* **Prevenção de acidentes domésticos no distrito federal**. Brasília: Fiocruz/Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/36920>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

COELHO, A. **TV Globo Bahia vai exibir matéria sobre o Carnaval de Caravelas**. Farol para Abrolhos, 6, março, 2014. Disponível em: <<https://farolparaabrolhos.blogspot.com/2014/03/tv-globo-bahia-vai-exibir-materia-sobre.html>>. Acesso em: 04 jan. 2024.

COELHO, L. E.; COSTA, S. **O ensino de estados físicos da matéria no 6º ano por meio de experimentos**. Revista Técnico-Científica do IFSC, Sombrio, v. 2, n. 2, p. 764-764, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/1072>>. Acesso em: 21 ago. 2023.

CONNOR, N. **O que é entalpia de vaporização – definição**. Thermal-Engineering, 10, outubro, 2019. Disponível em: <<https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-entalpia-de-vaporizacao-definicao/>>. Acesso em: 16 mar. 2024.

CORREIA, F.; SOARES, L. **Temperatura mais baixa do universo foi alcançada em laboratório; entenda como.** Olhar Digital, 17, outubro, 2022. Disponível em: <<https://olhardigital.com.br/2022/10/17/ciencia-e-espaco/temperatura-mais-baixa-do-universo-foi-atingida-em-laboratorio/>>. Acesso em: 25 ago. 2023.

CÔRTEZ, D. L. A. Por uma práxis libertadora: usos e sentidos da pedagogia em Paulo Freire. *In*: PEREIRA, C. L. (Org.) *et al.* **100 anos de Paulo Freire: a pedagogia freiriana no ensino-aprendizagem da educação brasileira.** Curitiba: Bagai, 2021. c. 5, p. 59-69. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1NvQr9kcMl12vTQ_fn0ZmPDWY7mCVuZ27/view?pli=1>. Acesso em: 18 mar. 2023.

COSTA, L. G.; BARROS, M. A. O ensino da física no brasil: problemas e desafios. *In*: ANDRADE, D. F. Educação no século XXI. **Matemática, química, física.** Belo Horizonte: Poisson, 2019. c. 16, p. 112-122, v. 3. Disponível em: <https://www.poisson.com.br/livros/educacao/volume39/Educacao_no_seculoXXI_vol39.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2023.

CRESWELL, J. W.; CRESWELL, J. D. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto.** 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2021.

DANTAS, C. R. S.; MASSONI, N. T. **Ensino por microprojetos: um estudo sobre a introdução de temas de física no ensino fundamental e a promoção da avaliação formativa.** Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 1-39, 2019. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID152/v9_n1_a2019.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2023.

DARWIN, C. Journal and remarks: 1832 - 1836. *In*: Voyages of the adventure and beagle. **Passage of cordillera.** London: Beaufort House, 1839. c. 17, p. 382-415. v. 3. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=UUWXjlu_JWQC&pg=PA396&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 24 jul. 2023.

DELIZOICOV, D. **Concepção problematizadora do ensino de ciências na educação formal: relato e análise de uma prática educacional na guiné-bissau.** 227 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/000711091>>. Acesso em: 19 set. 2022.

_____. **Ensino de física e a concepção freiriana da educação.** Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 85-97, 1983. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/39552710/Ensino-de-Fisica-e-a-concepcao-freiriana-da-educacao#>>. Acesso em: 18 mar. 2023.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências.** São Paulo: Cortez, 1990.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos.** 5. ed. São Paulo: Cortez, 2021.

DELIZOICOV, D.; MUENCHEN, C. **A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos.** Revista Ensaio, Belo Horizonte, v. 14, n. 3, p. 199-215,

2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1983-21172012140313>>. Acesso em: 14 mar. 2023.

DIMIRA, C. C.; CARVALHO, M. A. de. **Construção de materiais didáticos para o ensino de física nas séries iniciais da educação básica**: análise de uma proposta para os alunos do curso de formação de docentes. Revista Cadernos PDE, Apucarana, v. 1, p. 1-17, 2016. Disponível em: <http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2016/2016_artigo_fis_uel_cilene cristinadimira.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2023.

DOLCE, O.; POMPEO, J. N. **Fundamentos de matemática elementar**: geometria espacial – posição e métrica. 5. ed. São Paulo: Atual, 2009. v. 10.

DOURADO, G. **Tem medo da panela de pressão? especialistas ensinam a evitar problemas**: físico mostra como diminuir riscos, enquanto marcas apostam nos itens de segurança. Folha de S. Paulo, 29, novembro, 2021. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/comida/2021/11/usar-panela-de-pressao-sem-medo-e-possivel-garantem-especialistas.shtml>>. Acesso em: 19 ago. 2023.

DUTRA, N. L. **Propriedades coligativas**. Globo Comunicações e Participações, © 2000 - 2015. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/quimica/assunto/solucoes/propriedades-coligativas.html>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

ERSCHING, K. Física e exercício. **Momento de Inércia de um Cone Maciço #dedução passo a passo**. Youtube, 22, dezembro e 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LOn5oqiZ7_s>. Acesso em: 12 fev. 2024.

FARIA, D. M. de; SILVA, N. S. da. **Investigação na cozinha**. Revista Interdisciplinaridade Sulear, v. 5, n. 13, p. 10-30, 2022. Disponível em: <<https://revista.uemg.br/index.php/sulear/article/view/7485/4619>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

FERNANDES, V. L. de. **O que é codificação para paulo freire?** Todas as Respostas, 2, abril, 2022. Disponível em: <<https://todasasrespostas.pt/o-que-e-codificacao-para-paulo-freire#O%20Que%20%C3%89%20Codifica%C3%A7%C3%A3o%20Paulo%20Freire?>>. Acesso em: 17 dez. 2024.

FERRARO, N. G. **Os fundamentos da física**: como se explica?. Osfundamentosdafisica.blogspot, São Paulo, 23, janeiro, 2013. Disponível em: <https://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2013/01/leituras-do-blog_23.html>. Acesso em: 25 nov. 2022.

FERREIRA, V. A.; SANTOS, L. A. da S. **A humanização do ensino de física**: reflexões acerca de práticas pedagógicas. In: III Encontro Nacional de Educação em Ciências: perspectivas curriculares, 2017. Anais eletrônicos. Disponível em: <<https://www.ifmt.edu.br/ojs/index.php/ENEC/article/view/4356/3195>>. Acesso em: 07 maio 2023.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de física de Feynman**: mecânica, radiação e calor. Porto Alegre: Bookman, 2008. v. 1.

FIGUEIRÊDO, A. M. T. A. de *et al.* **Contextualizando a temática gases no ensino médio sob uma perspectiva dialogada e experimental.** Revista Principia, João Pessoa, n. 27, p. 81-88, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/534>>. Acesso em: 02 out. 2023.

FONSECA, J. C. A.; COSTA, M. de S. **Desafios na aprendizagem de física no ensino médio das escolas públicas:** Uma revisão da literatura. Revista Research, Society and Development, Vargem Grande Paulista, v. 12, n. 7, p. 1-11. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/42440>>. Acesso em: 16 jan. 2024.

FRANCISQUINI, J. d'A. *et al.* **Reação de maillard:** uma revisão. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, Juiz de Fora, v. 72, n. 1, p. 48-57, 2017. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/16823/1/artigo.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2023.

FREIRE, P. **Educação como Prática da Liberdade.** 53. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2019.

_____. **Educação e mudança.** Rio de Janeiro: Paz & Terra, 2020.

_____. **Pedagogia da autonomia:** saberes necessários à prática educativa. 27. ed. Rio de Janeiro: Paz & Terra, 2021.

_____. **Pedagogia do oprimido.** 17. ed. Rio de Janeiro: Paz & Terra, 1987.

FRIGO, F. **Sequência didática para o ensino de física térmica:** uma proposta baseada nos princípios da andragogia. 2022. 233 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2022. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/30879>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

GALVÃO, A. F. **Avaliação escolar:** como avaliar para ensinar melhor. Revista Internacional de Apoyo a la Inclusión, Logopedia, Sociedad y Multiculturalidad, v. 2, n. 1, p. 101-111, 2016. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/journal/5746/574660897009/movil/>>. Acesso em: 14 set. 2023.

GARRIDO JÚNIOR, S. L. C. *et al.* **A disciplina de física no ensino médio:** as dificuldades de aprendizagem na voz dos discentes do 2º ano de uma escola estadual em São Gabriel da Cachoeira/AM. Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFAM, São Gabriel da Cachoeira, v. 11, n. 2, p. 1-9, 2017. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/A-DISCIPLINA-DE-F%C3%8DSICA-NO-ENSINO-M%C3%89DIO%3A-AS-DE-NA-DO-J%C3%BAnior-Mota/c36e90fb9a8a9dae5e8a31e7e046c5daf61e7034>>. Acesso em: 06 nov. 2022.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de física:** uma nova visão baseada na teoria de vigotski. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

GIOVANNI, J. R.; BONJORNO, J. R.; GIOVANNI JÚNIOR, J. R. **Matemática fundamental:** uma nova abordagem. São Paulo: FTD, 2022.

GODOI, G. H. de. **O ensino de física na perspectiva da base nacional comum curricular**. 2018. 44 f. Monografia (Especialização em Ensino de Ciências e Matemática) – Instituto Federal Goiano, Morrinhos, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1184/1/MONOGRRAFIA_ENSINO%20D E%20CIENCIAS_GUILHERME%20GODOI.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.

GODOY, L. P. de; DELL'AGNOLO, R. M.; MELO, W. C. de. **Ciências da natureza: ciência, sociedade e ambiente**. São Paulo: FTD, 2020.

GOMES, A. R. A. N. **Formação de professores no ensino de ciências: diálogo entre conhecimentos prévios e científicos**. 2018. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018. Disponível em: <https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEPB_a57962867d2136f4212eccc02b7bd93b/Description>. Acesso em: 18 mar. 2023.

GOMES, J. L. A. M. C.; FORATO, T. C. M.; SILVA, A. P. B. da. **Temperatura e teorias sobre a natureza do calor: um projeto de aplicação da história e filosofia da ciência ao ensino de física**. In: VIII ENPEC - VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Campinas, 2012. Anais do VIII ENPEC, 2012. Disponível em: <[https://www.academia.edu/19890869/ENPEC_VIII_Temperatura_e_Teorias_sobre_a_Natureza do Calor Um Projeto de Aplicacao da Historia e Filosofia da Ciencia ao Ensino de Fisica](https://www.academia.edu/19890869/ENPEC_VIII_Temperatura_e_Teorias_sobre_a_Natureza_do_Calor_Um_Projeto_de_Aplicacao_da_Historia_e_Filosofia_da_Ciencia ao Ensino de Fisica)>. Acesso em: 17 set. 2023.

GOUVEIA, R. **Diagrama de fases**. Toda Matéria, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/diagrama-de-fases/>>. Acesso em: 24 mar. 2024.

Grupo de Ensino de Física (GEF). **Como varia a pressão atmosférica com a altitude?**. UFSM, Santa Maria, 21, fevereiro, 2020. Disponível em: <<https://ufsm.br/r-450-485>>. Acesso em: 24 abr. 2023.

Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF). **Física 2: física térmica e óptica**. São Paulo: Edusp, 2015. v. 2.

_____. **Leituras de física: física térmica**. São Paulo: Edusp, 2006. v. 2. Disponível em: <<http://www.if.usp.br/gref/termodinamica.htm>>. Acesso em: 08 mar. 2023.

GRETTON, L. **Cooking under pressure**. Old & Interesting, 21, fevereiro, 2008. Disponível em: <<http://www.oldandinteresting.com/pressure-cooker-history.aspx>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

GUÉMEZ, J.; FIOLEAIS, C.; FIOLEAIS, M. **Fundamentos de termodinâmica do equilíbrio**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1998.

GUIDOLIN, J. A. **O uso de simulação computacional para a aprendizagem do conteúdo estudos dos gases na disciplina de física**. 2014. 28 f. Artigo (Especialização em Mídias na Educação) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/12939>>. Acesso em: 09 set. 2023.

HADJI, C. **Avaliação desmistificada**. Porto Alegre: Artmed, 2001.

HANSON, A. **The pressure cooker**. Chefhansonblog, 8, fevereiro, 2018. Disponível em: <<https://chefhansonblog.wordpress.com/2018/02/08/the-pressure-cooker/>>. Acesso em: 11 set. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades e estados**: caravelas. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ba/caravelas.html>>. Acesso em: 11 ago. 2023.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). **Parque nacional marinho dos abrolhos**. Disponível em: <<https://www.icmbio.gov.br/parnaabrolhos/guia-do-visitante.html>>. Acesso em: 15 set. 2023.

JOSÉ, W. D.; DARLON, D. **Motor elétrico e dínamo de bicicleta**: articulações entre equipamentos geradores e três momentos pedagógicos no ensino de física sob o olhar da alfabetização técnica. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 39, n. 3, p. 656-687, dez. 2022. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/84438>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

KOCHAN, K. A.; STACHESKI, G. C. **Dificuldades de aprendizagem em física**. 2020. 15 f. Monografia (Licenciatura em Física) – Centro Universitário Internacional UNINTER, Curitiba, 2020. Disponível em: <https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/1128/KEITY%20ALESANDRA%20KOCHAN_2797953.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11 set. 2023.

KOHAN, W. **Paulo freire mais do que nunca**: uma biografia filosófica. Belo Horizonte: Vestígio, 2019.

KOHLRAUSCH, D. C. **A peer instruction como alternativa metodológica para aulas de física do ensino médio aplicada sob uma perspectiva freiriana**. 2020. 197 f. Monografia (Licenciatura em Física) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2020. Disponível em: <<http://repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/11744/Daniela%20da%20Cunha%20Kohlrausch.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 01 fev. 2022.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022a.

_____. **Técnicas de pesquisa**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

_____. **Metodologia do trabalho científico**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022b.

LIBÂNEO, J. C. **Didática**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1994.

LIMA, F. D. A. **As disciplinas de física na concepção dos alunos da rede pública de Fortaleza/CE**. 36 f. Monografia (Licenciatura Plena em Física), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, 2011. Disponível em: <<https://www.uece.br/cct/wp->

content/uploads/sites/28/2021/08/mono_felipe_diego_araujo_limal2.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2022.

LOCATELLI, R. J. Física com mestre roger. **Os mortos do everest, a panela de pressão e temperatura de ebulição da água**. Youtube, 03, setembro e 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZNlZ6Sggrgs&t=254s>. Acesso em: 11 set. 2022.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: E.P.U, 1986. Disponível em: <https://www.academia.edu/43066896/Pesquisa_em_Educa%C3%A7%C3%A3o_Abordagens_Qualitativas_vf>. Acesso em: 20 ago. 2022.

LUIZ, A. M.; GOUVEIA, S. L. **Elementos de termodinâmica**. Fortaleza: VestSeller, 2006.

LUCKESI, C. C. **Avaliação de aprendizagem escolar: estudos e proposições**. 22. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

MACHADO, V. **Uma investigação sobre a aplicação de um problema gerador de discussões (PGD) com o tema pressão: proposta e vislumbres**. Revista Brasileira de Física Tecnológica Aplicada, Ponta Grossa, v. 7, n. 1, p. 37-50, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbfta/article/view/12042>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

MARTINS, R. C. **Exposições universais: nova iorque 1939. Parque Expo'98, Lisboa, 1996**.

MARTINS, P. **Como usar panela de pressão (sem ter medo)**. Aqui na Cozinha, 9, fevereiro, 2013. Disponível em: <<https://www.aquinacozinha.com/como-usar-panela-de-pressao/>>. Acesso em: 25 mar. 2023.

MARTINS, P. L. O. **Didática**. Curitiba: InterSaber, 2012.

MELO, M. G. A.; CAMPOS, J. S.; ALMEIDA, W. S. **Dificuldades enfrentadas por professores de ciências para ensinar física no ensino fundamental**. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, Alenquer, v. 8, n. 4, p. 241-251, 2015. Disponível em <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbeect/article/view/2780>>. Acesso em: 16 maio 2023.

MENEZES, L. C. **Crise, cosmos, vida humana: física para uma educação humanista**. Tese (Doutorado em Educação). Instituto de Física, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1988. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/000729535>> Acesso em: 08 ago. 2022.

_____. Freire e os Físicos. In: GADOTTI, M. (Org). **Paulo Freire: uma bibliografia**. São Paulo: Cortez, 1996. Disponível em: <<https://acervo.paulofreire.org/items/557a5bf9-20bf-4ddc-9e21-265017fbaab9>>. Acesso em: 05 out. 2022.

MICHALISZYN, M. S. **Fundamentos socioantropológicos da educação**. Curitiba: InterSaber, 2012.

MIGLIAVACCA, A.; WITTE, G. **A física na cozinha**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

MION, R. A. **Investigação-ação e a formação de professores em Física**: o papel da intenção na produção do conhecimento crítico. 249 f. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/84114/182483.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 set. 2022.

_____. **O diálogo enquanto mediação entre ensinar e aprender**: uma análise prospectiva para o ensino de Física. In: _____. PPGE/UFSM Santa Maria: [s.n.], 1995. p. 1-14.

_____. **Processo reflexivo e pesquisa-ação**: apontamentos sobre uma prática educacional dialógica em física. Dissertação (Mestrado em Educação) – PPGE, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1996. Disponível em: <<https://www.cedoc.fe.unicamp.br/banco-de-teses/36600>>. Acesso em: 29 maio 2023.

MONTINI, P. L. **Pesado e medido**: uma história (de sucesso) em quadrinhos. São Paulo: IPEM - Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.ipem.sp.gov.br/images/publicacoes/50anos_tiras/50anos_tiras.pdf>. Acesso em: 16 set. 2023.

MORAES, J. U. P. **A visão dos alunos sobre o ensino de física**: um estudo de caso. Revista Scientia Plena, Lagarto, v. 5, n. 11, p. 1-7, 2009. Disponível em <<https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/736>>. Acesso em: 04 ago. 2022.

MOREIRA, I. C. **Feynman e suas conferências sobre o ensino de física no brasil**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, n. 4, p. 1-7, 2018a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0374>>. Acesso em: 11 jul. 2023.

MOREIRA, M. A. **Desafios no ensino da física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, Porto Alegre, v. 43, n. 2, p. 1-8, 2020. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451>>. Acesso em: 01 fev. 2023.

_____. **Ensino de física no brasil**: retrospectiva e perspectivas. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 22, n.1, p. 94-99, mar. 2000. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/116896>>. Acesso em: 14 set. 2022.

_____. **A. Ensino de física no século XXI**: desafios e equívocos. Revista do Professor de Física, v. 2, n. 3, Brasília, 2018c. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/19959/18380>>. Acesso em: 14 mar. 2023.

_____. **Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea**. Revista do Professor de Física, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017. Disponível em <<https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7074>>. Acesso em: 29 abr. 2023.

_____. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

_____. **Orientações sobre o currículo do mnpef**: aos docentes do mnpef. Sociedade Brasileira de Física, 13, março, 2015. Disponível em: <<https://www1.fisica.org.br/mnpef/orientacoes-sobre-o-curriculo>>. Acesso em: 26 jul. 2023.

. **Uma análise crítica do ensino de física.** Revista Ensino de Ciências, v. 32, n. 94, São Paulo, 2018b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0006>>. Acesso em: 29 abr. 2023.

MORENO, R. B. **En la olla expés se cocinan «gigantes» y salen tiernos y jugosos (i).** Gigantes en casa, Granada, 3, julho, 2016. Disponível em: <<https://gigantesencasa.com/2016/07/03/en-la-olla-expres-se-cocinan-gigantes-y-salen-tiernos-y-jugosos-i/>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

MUNAKATA, K. **Física do cotidiano como instrumento para uma abordagem humanizada do ensino de física.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 26, n. 3, p. 574-595, dez. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172009000300013&script=sci_arttext>. Acesso em: 02 fev. 2023.

NÁPOLES, S. **Sobre o volume de troncos.** Revista de Ciência Elementar, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2018 Disponível em: <<https://rce.casadasciencias.org/rceapp/pdf/2018/003/>>. Acesso em: 24 mar. 2024.

NASCIMENTO, I. A. Avaliação de aprendizagem como processo. *In*: MENEZES, C. R. C.; MACHADO, M. A. de C.; VASCONCELOS, A. D. Anais Eletrônicos da XIII Mostra Científica, **O futuro é agora: profissões e tecnologia no pós-pandemia.** Aracaju: FSLF, 2020. Disponível em: <<https://portal.fslf.edu.br/wp-content/uploads/2021/03/Anais-XIII-Mostra-Cientifica.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2023.

NASCIMENTO, T. L. do. **Repensando o ensino da física no ensino médio.** 2010. 62 f. Monografia (Licenciatura em Física) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2010. Disponível em: <https://www.uece.br/wp-content/uploads/sites/28/2021/08/tiago_lessa_nascimento.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2023.

NAVE, C. R. **Right hand rule for torque.** HyperPhysics, © 2017. Disponível em: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html>>. Acesso em: 11 abr. 2023.

NEUZA. **Expectativas superadas na 5ª feira gastronômica de mariscos da barra de caravelas.** Bahiaextremosul, 31, janeiro, 2022. Disponível em: <<https://www.bahiaextremosul.com.br/expectativas-superadas-na-5-feira-gastronomica-de-mariscos-da-barra-de-caravelas>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

NEVES, M. N. L.; AUTH, M. A. **O liquidificador como equipamento gerador no processo de ensino-aprendizagem de Física.** *In*: Anais de Encontro Científico de Física Aplicada, XIII Encontro Científico de Física Aplicada, 2023. Disponível em: <<https://even3.blob.core.windows.net/processos/14541f7893394f7c8950.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2024.

NUNES, L. A. O. **Oficiencia. Como funciona: a panela de pressão.** Youtube, 28, janeiro e 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=MQUzdOh8JHc>>. Acesso em: 13 set. 2022.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica: fluídos, oscilações e ondas, calor.** 5. ed. São Paulo: Blücher, 2014b. v. 2.

_____. **Curso de física básica: mecânica**. 5. ed. São Paulo: Blücher, 2014a. v. 1.

O país reprovado em matemática. Estadão, 19, dezembro, 2022. Disponível em: <<https://www.estadao.com.br/opiniaio/o-pais-reprovado-em-matematica/>>. Acesso em: 14 mar. 2023.

OLIVEIRA, A. F. de *et al.* **A humanização do ensino de Física: uma proposta de abordagem**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 1, p. 1-13, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172017000100306&script=sci_arttext>. Acesso em: 08 maio 2023.

OLIVEIRA, M. J. de. **Termodinâmica**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

OLIVEIRA, W. C. de; CIRINO, M. M.; FILHO, O. S. **Utilização e avaliação de softwares no ensino de gases ideais: uma proposta de unidade didática para o ensino médio**. Revista Ensino & Multidisciplinaridade, São Luís, v. 3, n. 1, p. 38-58, 2017. Disponível em: <<https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/ens-multidisciplinaridade/article/view/14679/8118>>. Acesso em: 10 set. 2022.

Organização das Nações Unidas (ONU). **Declaração universal dos direitos humanos**. Paris, 1948. Disponível em: <<https://unric.org/pt/wp-content/uploads/sites/9/2019/07/Declara%C3%A7%C3%A3o-Universal-dos-Direitos-Humanos.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2022.

PASCHOARELLI, L. C.; MEDOLA, F. O.; BONFIM, G. H. Cruz. **Características qualitativas, quantitativas de abordagens científicas: estudos de caso na subárea do design ergonômico**. Revista de Design, Tecnologia e Sociedade, v. 2, n. 1, p. 65–78, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/design-tecnologia-sociedade/article/view/15699>>. Acesso em: 16 fev. 2024.

PERNAMBUCO, M. M. C. A. **Ensino de ciências a partir de problemas da comunidade**. 276 f. Dissertação (Ensino de Ciências, Modalidade Física) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-13042022-092029/pt-br.php>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

PIERSON, A. H. C.; TOTI, F. A. **Elementos metodológicos para o ensino de física a partir das atividades de trabalho de estudantes do ensino médio**. 2006. Disponível em: <<http://www.fep.if.usp.br/~profis/arquivos/vienpec/CR2/p454.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2022.

PIETROCOLA, M. **Ensino de Física**. Florianópolis, UFSC; 2001.

PIRES, A. S. T. **Evolução das idéias da física**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

PIRES, M. A.; VEIT, E. A. **Tecnologias de informação e comunicação para ampliar e motivar o aprendizado de física no ensino médio**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 2, p. 241-248, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-47442006000200015>>. Acesso em: 08 ago. 2023.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2009.

Prefeitura Municipal de Caravelas (PMC). **Caravelas**. © 2023a. Disponível em: <<https://www.caravelas.ba.gov.br/nossa-historia/>>. Acesso em: 22 set. 2023.

_____. **Caravelas completa 165 anos de emancipação política**. © 2023b. Disponível em: <<https://www.caravelas.ba.gov.br/caravelas-completa-165-anos-de-emancipacao-politica/#>>. Acesso em: 22 set. 2023.

_____. **Contagem regressiva para a inauguração das obras de revitalização da rua do porto de caravelas**. © 2023c. Disponível em: <<https://www.caravelas.ba.gov.br/contagem-regressiva-para-a-inauguracao-das-obras-de-revitalizacao-da-rua-do-porto-de-caravelas/>>. Acesso em: 22 set. 2023.

Pressure cooking. Academic Accelerator, [s.d.] Disponível em: <<https://academic-accelerator.com/encyclopedia/pressure-cooking/>>. Acesso em: 26 ago. 2023.

Professor Thiago. **Equação de clapeyron e clausius clapeyron (diagramas de fases de substâncias puras)**. Youtube, 15, agosto e 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=-BkaA6VUGOY>>. Acesso em: 21 fev. 2023.

REZENDE, N. R. **História das máquinas térmicas e o desenvolvimento das leis da termodinâmica**. 2021. 69 f. Produto Educacional (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Instituto de Educação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/599896?mode=full>>. Acesso em: 21 ago. 2023.

ROCHA, D. F. S. S. *et al.* **Diagnóstico de dificuldades de ensino-aprendizagem de física no ensino fundamental e médio e implicações das competências e habilidades das novas diretrizes**. Research, Society and Development, Itajuabá, v. 10, n. 14, p. 1-18, 2021. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21980>>. Acesso em: 07 jan. 2023.

RODRIGUES, E. B.; POSSAMAI, L. M. **A panela de pressão e a física, como método pedagógico do cotidiano à inclusão de experimento científico**. Revista FACISA Online, Barra do Garças, v. 8, n. 2, p. 161-172, jul. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.unicathedral.edu.br/index.php?journal=revistafacisa&page=article&op=view&path%5B%5D=495&path%5B%5D=369>>. Acesso em: 09 jan. 2023.

RODRIGUES, J. B. S. *et al.* **O milho das comidas típicas juninas: uma sequência didática para a contextualização sociocultural no ensino de química**. Revista Química Nova na Escola, São Paulo, v. 39, n. 2, p. 179-185, 2017. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39_2/10-RSA-80-15.pdf>. Acesso em: 18 set. 2022.

ROSA, A. W. da; GIACOMELLI, A. C.; ROSA, C. T. W. da. **Uma reflexão sobre a concepção freiriana presente nos trabalhos apresentados no simpósio nacional de ensino de física**. Revista Signos, Lajeado, v. 40, n. 2, p. 191-207, 2019. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.22410/issn.1983-0378.v40i2a2019.2344>>. Acesso em: 13 maio 2022.

ROSA, C. T. W. da *et al.* **A cozinha como laboratório para discutir física de forma contextualizada.** Revista Vivências, Erechim, v. 16, n. 31, p. 63-73, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.31512/vivencias.v16i31.170>>. Acesso em: 06 jul. 2023.

ROSA, N. S. S.; PIRES, J. da S. **A avaliação escolar e suas influências no processo de ensino-aprendizagem.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 7, v. 3, p. 186-206, 2022. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao/avaliacao-escolar>>. Acesso em: 21 ago. 2023.

SÁ, R. L. **Uma proposta da abordagem da primeira lei da termodinâmica para o segundo ano do ensino médio.** 2021. 47 f. Monografia (Licenciatura em Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Picos, 2021. Disponível em: <http://bia.ifpi.edu.br:8080/jspui/bitstream/123456789/997/1/2021_tcc_rls%c3%a1.pdf>. Acesso em: 30 maio 2023.

SAMPIERI, R. H; COLLADO, C. F; LUCIO, M. del P. B. **Metodologia de pesquisa.** 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SANTOS, A. G. F. dos; OLIVEIRA, R. D. V. L. de; QUEIROZ, G. R. P. C. **Conteúdos cordiais: física humanizada para uma escola sem mordça.** São Paulo: Livraria da Física, 2021.

SANTOS, T. T.; MEIRELLES, R. M. S. **Potencialidades dos temas geradores no ensino de ciências.** Revista Educação Pública, Rio de Janeiro, v. 19, n. 5, p. 1-4, 2019. Disponível em <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/19/5/potencialidades-dos-temas-geradores-no-ensino-de-ciencias>>. Acesso em: 09 out. 2022.

SANTOS, Z. T. S. dos. **Ensino de entropia: um enfoque histórico e epistemológico.** 2009. 166 f. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/14221>>. Acesso em: 02 ago. 2023.

Sociedade Brasileira de Física (SBF). **Considerações sobre a base nacional curricular comum e a física na bncc (ensino médio e fundamental).** 2015. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/noticias/dezembro2015/Documento_GT-BNCC_06dez2015.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2023.

SCHNEIDERS, E. C.; DE MELO, D. K. F.; GASTALDO, L. F. **Física: dificuldades no processo de ensino-aprendizagem na educação básica.** Salão do conhecimento. Ciência alimentando o brasil. XXIV seminário de iniciação científica, 2016. Disponível em: <<https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/6774/5543>>. Acesso em: 21 set. 2022.

SILVA, J. M. A. da. **As dificuldades enfrentadas por estudantes do ensino médio na aprendizagem da física.** Anais VI CONEDU... Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/59212>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

SILVA, P. O. da. *et al.* **Os desafios no ensino e aprendizagem da física no ensino médio.** Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, v. 9, n. 2, p. 829-834, 2018. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.31072/rcf.v9i2.593>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

SILVA, R. R. **Conscientização: teoria e prática da libertação: uma introdução ao pensamento de Paulo Freire**. Revista Educação: Teoria e Prática, Rio Claro, v. 33, n. 66, p. 1-12, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.18675/1981-8106.v33.n.66.s17187>>. Acesso em: 04 maio 2023.

SILVA, W. P. da *et al.* **Medida de calor específico e lei de resfriamento de Newton: um refinamento na análise dos dados experimentais**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 4, p. 392-398, dez. 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-47442003000400010>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

SILVEIRA, F. L. da. **Como calcular a pressão na panela de pressão conhecida a temperatura?**. CREF-UFRGS, Porto Alegre, 15, julho, 2015. Disponível em: <<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=como-calculer-a-pressao-na-panela-de-pressao-conhecida-a-temperatura>>. Acesso em: 30 nov. 2022.

_____. **Onde se cozinha mais rápido, em bh ou em la paz?**. CREF-UFRGS, Porto Alegre, 4, março, 2013. Disponível em: <<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=onde-se-cozinha-mais-rapido-em-bh-ou-la-paz>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

_____. **Ponto de ebulição de uma solução aquosa salina**. CREF-UFRGS, Porto Alegre, 21, janeiro, 2019. Disponível em: <<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=ponto-de-ebulicao-de-uma-solucao-aquosa-salina>>. Acesso em: 22 set. 2023.

_____. **Pressão em uma “panela de pressão”: como calcular?**. CREF-UFRGS, Porto Alegre, 10, dezembro, 2020. Disponível em: <<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=pressao-em-uma-panela-de-pressao-como-calculer>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

_____. **Pressão na panela**. CREF-UFRGS, Porto Alegre, 4, outubro, 2010. Disponível em: <<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=pressao-na-panela>>. Acesso em: 17 nov. 2022.

SIQUEIRA, R. B. **Análise contextualizada do ensino da termodinâmica**. 2013. 48 f. Monografia (Licenciatura em Física) – Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/31679/1/2013_tcc_rbsiqueira.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2022.

SOLINO, A. P.; GEHLEN, S. T. **O papel da problematização freireana em aulas de ciências/física: articulações entre a abordagem temática freireana e o ensino de ciências por investigação**. Revista Ciência & Educação, Bauru, v. 21, n. 4, p. 911-930, 2015. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/G7RT7TN5Pdz58qNKG5WwRZk/?lang=pt>>. Acesso em: 13 maio 2022.

SOUZA, J. C. S. de; SANTOS, M. C. **Planejamento escolar: um guia da prática docente**. Revista Educação Pública, v. 19, n. 15, 6 ago. 2019. Disponível em: <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/19/15/planejamento-escolar-um-guia-da-pratica-docente>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

TAYLOR, J. R. **Mecânica clássica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

The history of the pressure cooker: a revolutionary invention that changed the way we cook. Pressure cookers, 11, agosto, 2021. Disponível em: <<https://pressurecookers.us/articles/the-history-of-the-pressure-cooker>>. Acesso em: 16 jun. 2023.

THORNTON, S. T.; MARION, J. B. **Dinâmica clássica de partículas e sistemas**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

TOKARNIA, M. **Formação de professores é desafio no ensino fundamental, diz pesquisa:** saúde mental de alunos e docentes também aparece entre problemas. Agência Brasil, Rio de Janeiro, 09, agosto, 2023. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/educacao/noticia/2023-08/formacao-de-professores-e-desafio-no-ensino-fundamental-diz-pesquisa>>. Acesso em: 13 ago. 2023.

TORRES, C. M. A. *et al.* **Física, ciência e tecnologia:** mecânica. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2016a. v. 1.

_____. **Física, ciência e tecnologia:** termodinâmica, óptica, ondas. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2016b. v. 2.

TRINDADE, J. F. e. **Dificuldades na aprendizagem de física – algumas notas**. 1998. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/234026609>>. Acesso em: 08 ago. 2022.

University of Colorado Boulder (CUB). PhET™ Interactive Simulations. **States of matter:** phase changes. © 2002 – 2023. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter/latest/states-of-matter_all.html>. Acesso em: 22 out. 2023.

VIDAL, L. A.; CUNHA, C. R. da; BUENO, C. N. **Dificuldades no aprendizado de física do ensino médio em função da deficiência na matemática do nível fundamental**. Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas, Cuiabá, v. 22, n. 5, p. 681-685, 2021. Disponível em <<https://revistaensinoeducacao.pgskroton.com.br/article/view/8698>>. Acesso em: 16 maio 2023.

WOO, M. **Lugar mais frio do universo é enigma para astrônomos**. BBC Earth, 26, outubro, 2014. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/10/141023_vert_fut_frio_extremo_dg>. Acesso em: 19 dez. 2023.

APÊNDICE A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO ESCOLAR



TERMO DE AUTORIZAÇÃO ESCOLAR

Eu, **Luiz Leonardo Soares Ferreira**, na condição de gestor do Colégio Polivalente de Caravelas, situado na avenida das Palmeiras, número 77, bairro Nova Coréia, Caravelas-BA, autorizo a realização de uma sequência didática de ensino e aprendizagem vinculada ao *Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)* da *Sociedade Brasileira e Física (SBF)* e amparado pela *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)*, nas dependências desta escola, conforme as seguintes condições:

1. **Turma, turno e período da aplicação:** A sequência didática será aplicada junto à turma 2AMS no turno matutino, todas as quartas-feiras, das 8:20 as 9:10, e no turno vespertino, todas as quintas-feiras, das 14:30 as 17:30. A sequência didática terá início a partir da segunda semana de setembro de 2023 e se poderá se estender até a última semana do mês de novembro do mesmo ano.
2. **Locais de realização na escola:** As atividades serão realizadas nas seguintes dependências da escola: *Sala de aula designada para a turma; Laboratório de Ciências; Laboratório de Informática; Biblioteca.*
3. **Responsável pela sequência didática:** O professor efetivo de Física da escola, Raphael Lima Sodré, inscrito sob o número de matrícula estadual 85201511 e CPF 03877233589, aluno do MNPEF do polo 62 (UESB: Vitória da Conquista – BA) sob a matrícula acadêmica 2022F0142, será o responsável pelo planejamento e condução das atividades, além do acompanhamento da turma durante todo o desenvolvimento da sequência didática.
4. **Objetivo da pesquisa:** Aplicar e avaliar uma sequência didática de ensino e aprendizagem em Física para desenvolver uma série de atividades acadêmicas de cunho científico, de modo a coletar dados que possam contribuir para a melhoria do Ensino de Física no Brasil, sobretudo nas escolas públicas. A pesquisa é intitulada como *“DA COZINHA PARA A SALA DE AULA: Uma Possibilidade de um Ensino de Física a Partir da Painel de Pressão como Equipamento Gerador”*.
5. **Compromisso:** O professor se compromete a zelar pela integridade dos alunos durante a realização da sequência didática, sobretudo a do laboratório de ciências. Qualquer dano ou incidente será comunicado imediatamente à direção da escola para que as medidas necessárias sejam tomadas afim de reparar ou resolver a situação.
6. **Autorização da direção e contato:** A presente autorização foi concedida com a devida ciência e aprovação da equipe diretiva da escola. Em caso de dúvidas, esclarecimentos ou demais necessidades de contato, contatar a direção da escola por meio do endereço físico supracitado ou número de telefone (73) 3297 - 1008. A direção da escola reserva-se o direito de revogar esta autorização caso haja qualquer violação das normas da instituição.

Este termo de autorização tem validade apenas durante o período especificado e está sujeito a revisão e alteração, se necessário. A direção da escola reserva-se ao direito de revogar esta autorização caso haja qualquer violação das normas da instituição.



Assinatura e carimbo do diretor.

Luiz Leonardo Soares Ferreira
 Diretor - Aut. 90695/22
 Port. 474/2016 - D.O. 26/01/2016
 Col. Polivalente de Caravelas
 Vol. 17/04/2025

Data: 12 de setembro de 2023

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

() Declaro que sou maior de idade e autorizo a minha participação... ou () Autorizo a participação do meu tutelado menor de idade... em uma sequência didática de ensino e aprendizagem em Física vinculada ao *Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)* nas dependências do Colégio Polivalente de Caravelas, situado na Avenida das Palmeiras, número 77, Nova Coréia, Caravelas-BA, conforme as seguintes condições pré-estabelecidas abaixo:

1. **Turma, Turno e Período da Aplicação:** A sequência didática será aplicada junto à turma 2AMS no turno matutino, todas as quartas-feiras, das 8:20 as 9:10, e no turno vespertino, todas as quintas-feiras, das 14:30 as 17:30. A sequência didática terá início a partir da segunda semana de setembro de 2023 e se poderá se estender até a última semana do mês de novembro do mesmo ano.
2. **Locais de Realização na Escola:** As atividades serão realizadas nas seguintes dependências da escola: *Sala de aula designada para a turma; Laboratório de Ciências; Laboratório de Informática; Biblioteca.*
3. **Responsável pela Sequência Didática:** O professor efetivo de Física da escola, Raphael Lima Sodré, inscrito sob o número de matrícula estadual 85201511 e CPF 03877233589, aluno do MNPEF do polo 62 (UESB: Vitória da Conquista – BA) sob a matrícula acadêmica 2022F0142, será o responsável pelo planejamento e condução das atividades, além do acompanhamento da turma durante todo o desenvolvimento da sequência didática.
4. **Objetivo da Pesquisa:** Aplicar e avaliar uma sequência didática de ensino e aprendizagem em Física para desenvolver uma série de atividades acadêmicas de cunho científico, de modo a coletar dados que possam contribuir para a melhoria do Ensino de Física no Brasil, sobretudo nas escolas públicas. A pesquisa é intitulada como *“DA COZINHA PARA A SALA DE AULA: Uma Possibilidade de um Ensino de Física a Partir da Painel de Pressão como Equipamento Gerador”*.
5. **Compromisso:** O professor se compromete a zelar pela integridade dos alunos durante a realização da sequência didática, sobretudo a do laboratório de ciências. Qualquer dano ou incidente será comunicado imediatamente à direção da escola para que as medidas necessárias sejam tomadas afim de reparar ou resolver a situação.
6. **Autorização da Direção e Contato:** A presente autorização foi concedida com a devida ciência e aprovação da equipe diretiva da escola. Em caso de dúvidas, esclarecimentos ou demais necessidades de contato, contatar a direção da escola por meio do endereço físico supracitado ou número de telefone (73) 3297 - 1008. A direção da escola reserva-se o direito de revogar esta autorização caso haja qualquer violação das normas da instituição.

Eu compreendi os termos acima e concordo em permitir a participação do meu tutelado (caso seja o responsável legal do aluno menor de idade) ou minha própria participação (caso seja maior de idade) na sequência didática mencionada. Reconheço que eu o aluno participante tem o direito de retirar sua participação a qualquer momento, sem que haja qualquer tipo de prejuízo pessoal ao mesmo.

Nome completo do aluno menor: _____

Assinatura do responsável legal do aluno menor: _____

Assinatura do aluno maior de idade: _____

Data: 14 de setembro de 2023.

Caso queira ver os TCLE assinados pelos alunos maiores de idade ou os alunos menores de idade e seus responsáveis, aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto aos TCLE digitalizados por meio do aplicativo para celular CS Scanner. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link:

<https://drive.google.com/file/d/1nGPzeFDRmbDXd0ltmvSZYVp05QUeIwjb/view?usp=sharing>



**APÊNDICE C – CÓDIGO EM LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO PYTHON DE
IMPLEMENTAÇÃO DA EQUAÇÃO DE CLAUSIUS-CLAPEYRON PARA
DETERMINAÇÃO DAS PRESSÕES MÁXIMAS DE VAPOR DA ÁGUA A DIFERENTES
TEMPERATURAS**

```
import math

def clausius_clapeyron(T):
    p_0 = 1.0 # Valor inicial de pressão (p_0)
    R = 4889.34

    # Convertendo as temperaturas para Kelvin
    T_K = 273.15 + T

    # Calculando a pressão usando a equação de Clausius-Clapeyron
    pressure = p_0 * math.exp(-R * (-1/373.15 + 1/T_K))

    return pressure

def main():
    first_term = 0
    last_term = 185
    common_difference = 5

    for T in range(first_term, last_term + 1, common_difference):
        pressure = clausius_clapeyron(T)
        print(f'Para T = {T}, a pressão é: {pressure:.4f}')

if __name__ == "__main__":
    main()
```

APÊNDICE D – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA INDIVIDUAL

Acesse com seu dispositivo celular: aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto às questões da avaliação diagnóstica individual. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: <https://docs.google.com/document/d/1YkgilQecBqA0SrmTBMQYdphKiFupAwa0/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



APÊNDICE E – AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA COLETIVA

Acesse com seu dispositivo celular: aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto às questões da avaliação diagnóstica coletiva. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link:

https://docs.google.com/document/d/1LOLSB_7doF2bDDG5tataC-hsIbtLRssW/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true



**APÊNDICE F – ATIVIDADE SOBRE OS TEXTOS DE ENERGIA E HISTÓRIA DA
PANELA DE PRESSÃO**

Acesse com seu dispositivo celular: aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto às questões da atividade sobre energia. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: <https://docs.google.com/document/d/1LRRFIDzWyCEOIZzk4XqMD4FQsxkOkerv/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



APÊNDICE G – ATIVIDADES SOBRE OS VÍDEOS DE ACIDENTES DOMÉSTICOS COM A PAINELA DE PRESSÃO

Acesse com seu dispositivo celular: aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto às questões da atividade sobre os vídeos de acidentes domésticos com a painela de pressão. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link:
<https://docs.google.com/document/d/10VcOrDMeYhN5K3Z1Un85eonnophijZ2N/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



**APÊNDICE H – ATIVIDADE DE ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE EBULIÇÃO
DA ÁGUA NA PANELA DE PRESSÃO REAL POR MEIO DA EQUAÇÃO DE
CLAUSIUS-CLAPEYRON**

Acesse com seu dispositivo celular: aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto às questões da atividade proposta. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link:

<https://docs.google.com/document/d/16->

[GjBpB8eg0r1g0mk92tVxJ275g31biG/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rt
pof=true&sd=true](https://docs.google.com/document/d/16-GjBpB8eg0r1g0mk92tVxJ275g31biG/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rt=pof=true&sd=true)



**APÊNDICE I – ATIVIDADE DE ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DE EBULIÇÃO
DA ÁGUA NA PANELA DE PRESSÃO REAL POR MEIO DA RELAÇÃO
TERMOMÉTRICA ENTRE OS TERMÔMETROS CAPILAR DE ÁLCOOL E DE ROSCA**

Acesse com seu dispositivo celular: aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto às questões da atividade proposta. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: https://docs.google.com/document/d/1sSTZz-n8kC1DGQhPBRf-1nlo3juObb_V/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true



**APÊNDICE J – ATIVIDADE DE ANÁLISE DA VÍDEO-PROPAGANDA SOBRE A
“PANELA DE PRESSÃO DE PEDRA” E PRODUÇÃO DAS ARTES GRÁFICAS
SÁTIRAS**

Acesse com seu dispositivo celular: aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto às questões da atividade proposta. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: <https://docs.google.com/document/d/1VUJt6yTCJEwCm6rjch3DJR43rmCaaaMs/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



APÊNDICE K – ATIVIDADE DE LEITURA DA TIRINHA SOBRE A EXPLOSÃO DA PANELA DE PRESSÃO DE PEDRA

Acesse com seu dispositivo celular: aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto às questões da atividade proposta. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: https://docs.google.com/document/d/1mOw7-MOF_IKaYtJQzSDGzLj7TliKyKsa/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true



**APÊNDICE L – ATIVIDADE E LEITURA DA IMAGEM SOBRE A FÍSICA
ENVOLVIDA NO COZIMENTO DOS ALIMENTOS NA PAINELA DE PRESSÃO**

Acesse com seu dispositivo celular: aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto às questões da atividade proposta. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: <https://docs.google.com/document/d/1P0HJ5X3BWtjdie2bhX39IJCLLx0TUwbo/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



**APÊNDICE M – ATIVIDADE DE LEITURA DA IMAGEM SOBRE A ÁGUA
FERVENDO EM ALTITUDES DIFERENTES**

Acesse com seu dispositivo celular: aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto às questões da atividade proposta. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: <https://docs.google.com/document/d/1EafXJFeWYTIsvq2zBXPq6HLnb6Uc4q5-/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



APÊNDICE N – ATIVIDADE GERAL EM GRUPO

Acesse com seu dispositivo celular: aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto às questões da atividade proposta. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: https://docs.google.com/document/d/1fiuxVYcZPbNvR3Oq7WslpBmzv9cz-h_5/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true



APÊNDICE O – ATIVIDADE SOBRE O VÍDEO DA EXPERIÊNCIA DA PANELA DE PRESSÃO ADAPTADA DO IFUSP/SC

Acesse com seu dispositivo celular. Aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto ao questionário utilizado na SD sobre a atividade de análise comparativa entre as experiências feita no Laboratório de Ciências do CPC e pelo professor Nunes (2017) no IFSC/USP. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: https://docs.google.com/document/d/1pCPBTGStGSkL5xAlb0kJlPNJXdm_XwW/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true



APÊNDICE P – ATIVIDADE SOBRE A SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA PANELA DE PRESSÃO NO PhET

Acesse com seu dispositivo celular. Aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto ao questionário utilizado na SD sobre a atividade envolvendo a simulação computacional da panela de pressão no PhET que foi feita no Laboratório de Informática do CPC. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link:
<https://docs.google.com/document/d/11JnbCZQfSArUZdHJkEH5zM6GHlKSIqjZ/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



APÊNDICE Q – AVALIAÇÃO TEÓRICA INDIVIDUAL

Acesse com seu dispositivo celular. Aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto à avaliação teórica individual com questões de vestibulares, ENEM e OBF, sobre a Física envolvida no uso da panela de pressão durante. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: <https://docs.google.com/document/d/1WFnkAtyNy4xUDCOqmyYzlR5jlAq5xgCN/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



APÊNDICE R – ROTEIRO PARA FEEDBACK PEDAGÓGICO DOS EDUCANDOS

Acesse com seu dispositivo celular. Aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto ao questionário utilizado na SD para obter os feedbacks pedagógicos dos educandos quanto suas percepções e críticas quanto a mesma. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: https://docs.google.com/document/d/1Q6KIkVdpw6pE4DMs_PaqFyKOo6QpiUwz/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true



APÊNDICE S – PRODUTO EDUCACIONAL

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO – PPG
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – MNPEF

Raphael Lima Sodré

Uma Sequência Didática de Ensino e Aprendizagem em Física a Partir da Panela de Pressão como Equipamento Gerador à Luz da Alfabetização Técnica

PRODUTO EDUCACIONAL

Produto educacional apresentado ao programa de pós-graduação em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Sociedade Brasileira de Física (SBF), vinculado à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) – Polo 62 –, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

Área de Concentração: Física na Educação Básica
Linha de Pesquisa: Física no Ensino Médio
Temática: A Física na Cozinha
Orientador: Prof. Dr. Ferdinand Martins da Silva
Coorientador: Prof. Dr. Luizdarcy de Matos Castro

Vitória da Conquista – BA

Abril de 2024

Apresentação

Este trabalho apresenta uma proposta de Ensino de Física por meio de um produto educacional que servirá de subsídio teórico e metodológico para os professores de Física das escolas básicas de ensino. Trata-se de uma Sequência Didática (SD) de ensino e aprendizagem que promove uma abordagem temática para a construção humanista e contemporânea de Conceitos e Fenômenos Físicos relacionados ao uso da Panela de Pressão durante o cozimento dos alimentos, seguindo a abordagem pedagógica da “Educação Dialógico-Problematizadora” de Paulo Freire. Além disso, a proposta também se baseia nas discussões associadas às questões de segurança quanto ao manuseio desse utensílio doméstico tão comum em nosso dia a dia.

A proposta da pesquisa é subsidiada pelos fundamentos teórico-metodológicos estabelecidos pela dinâmica dos “Três Momentos Pedagógicos” de Demétrio Delizoicov e José André Angotti, em paralelo com a abordagem temática dos “Equipamentos Geradores” de Fábio da Purificação de Bastos, ao qual encontra-se estruturada na concepção da “Alfabetização Técnica” promovida por Maurice Bazin.

A Panela de Pressão é utilizada como equipamento gerador para contextualizar e abordar os conceitos e fenômenos físicos associados ao seu uso, uma vez que se trata de um objeto do cotidiano dos educandos cuja contextualização histórica e social reflete o avanço da tecnologia ao longo de décadas. E, por isso, ela se firma como núcleo da problematização da pesquisa, cujo caráter é quali-quantitativo, e considera os “Obstáculos Epistemológicos” trazidos por Gaston Bachelard. Além disso, a metodologia apresenta roteiros, questionários e entrevistas do tipo semi-estruturadas (Gil, 2023; Lakatos; Marconi, 2021; 2022a; 2022b; Ludke; André, 1986) para obtenção de dados quali-quantitativos em que são flexíveis e os educandos participantes desenvolvem uma interação significativa com o tema abordado pelo professor.

A presente proposta foi elaborada para um público da 2ª série do Ensino Médio do curso profissionalizante em Administração (tempo integral) e prevê um tempo didático de 26 horas/aulas. O processo ensino-aprendizagem inclui atividades práticas (teóricas, experimentais e computacional) e discussões textuais abrangentes por meio de reflexões críticas em rodas de conversas com os educandos, a investigação temática, a elaboração e produção de artes gráficas que expressam uma sátira a respeito de situações errôneas associadas à Panela de Pressão, a avaliação formativa da aprendizagem dos educandos de forma predominante, produções textuais (mapas conceituais) e um feedback pedagógico por parte dos educandos sobre suas percepções e considerações a respeito da SD.

Sumário

Introdução.....	354
Sequência Didática.....	357
Referências.....	403
Apêndice A – Termo de Autorização Escolar.....	409
Apêndice B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	410
Apêndice C – Custos para Adaptação da Panela de Pressão.....	411
Anexo – Texto “A Panela de Pressão”	412

Introdução

O educador Paulo Freire é um dos principais nomes da Educação mundial, sendo conhecido por sua teoria crítica e transformadora. Seus pressupostos pedagógicos têm servido de inspiração para educadores de todo o mundo, por sua abordagem humanista e participativa, que considera o educando como sujeito central e ativo do processo educativo. Para Freire (1987; 2020; 2021), a Educação é uma forma de libertação e transformação social, que deve estar a serviço da construção de uma sociedade mais justa e democrática.

Dentre os pressupostos freirianos destacam-se a ideia da Educação como processo de humanização, consciência política e de classe, responsabilidade social e ambiental e, a importância da participação ativa dos educandos no processo educativo em prol da transformação social (Freire, 1987; 2021; Bastos, 1995). Seu método pedagógico, segundo Fernandes (2022), consiste basicamente em três etapas: a *investigação*, a *tematização*, e a *problematização*.

Na *investigação*, os educandos e o professor desbravam a realidade local na qual tanto a escola quanto os educandos nela presentes estão inseridos, buscando por palavras e/ou temas centrais, emergentes ou latentes, que estejam vinculados à um contexto sócio-histórico-cultural-político-tecnológico. Na *tematização*, os sujeitos envolvidos no processo educativo buscam codificar e decodificar os temas encontrados por meio de reflexões críticas, atribuindo-lhes significados sociais. Por fim, na *problematização* eles buscam superar seus saberes prévios dos educandos, baseado em suas vivências e percepções de mundo, e adotar uma forma crítica da leitura e escrita de mundo (Fernandes, 2022; Delizoicov, 1982; Pernambuco, 1981).

Segundo Freire (1987; 2021), a Educação não pode se resumir a uma mera transmissão de conhecimentos, mas deve ser um processo de construção conjunta de saberes, em que o educador e o educando dialogam e aprendem mutuamente. Nesse sentido, a Educação deve estar pautada na relação dialógica entre educador e educando, em que ambos são sujeitos centrais e ativos do processo educativo.

Para operacionalizar esses pressupostos, Delizoicov e Angotti (1990) e Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2021) propõem a utilização dos Três Momentos Pedagógicos, abordagem metodológica procedimental ancorada na abordagem temática freiriana, que consistem na *problematização inicial*, na *organização do conhecimento* e na *aplicação dos conhecimentos*. Esses três momentos são etapas distintas, porém articuladas entre si, e proporcionam uma metódica baseada na codificação-ação-decodificação, e promover uma

abordagem metodológica humanizada para gerar reflexões profundas a respeito de um tema específico latente ou evidente, da realidade local dos educandos.

O primeiro momento, a Problematização Inicial, parte da realidade dos educandos buscando identificar as contradições e desafios que enfrentam. O segundo momento, a Organização do Conhecimento, consiste na pesquisa e reflexão aprofundada e conjunta sobre os temas levantados na problematização inicial. Por fim, o terceiro momento, a Aplicação do Conhecimento, busca transformar a realidade a partir dos conhecimentos construídos e responder às questões norteadoras que emergiram das discussões durante a problematização inicial (Delizoicov; Angotti, 1990).

Nesse viés, os Equipamentos Geradores estabelecidos por Bastos (1990) surgem como uma importante ferramenta para um Ensino de Física dialógico-problematizador (Delizoicov, 1982), de modo a tornar a prática educativa mais humanizada e alinhada com as vivências contemporâneas dos educandos em seus contextos socioculturais.

De acordo com Bastos (1990) e Santos e Meirelles (2022), os Equipamentos Geradores são objetos/aparelhos tecnológicos presentes no cotidiano dos educandos e que podem ser utilizados como recursos didáticos que possibilitem ao educando desenvolver habilidades de observação, investigação e interpretação de fenômenos físicos associados à construção e funcionamento desses objetos/aparelhos, explorando conceitos, leis e teorias científicas associadas a eles. Além disso, outros fenômenos naturais, como químicos, biológicos etc., podem ser explorados a depender do interesse do professor e foco de sua pesquisa.

Conforme estabelecido por Auth *et al.* (1995) e Bazin (1977a), o termo “Equipamentos Geradores” refere-se à ideia de que o conhecimento físico presente em equipamentos tecnológicos pode ser utilizado para criar um currículo escolar humanizado. Estudar esses equipamentos em atividades teórico-experimentais é uma prática que envolve diálogo e leva em consideração o contexto sociocultural dos educandos, facilitando a compreensão dos conhecimentos físicos.

Para Freire (2021), a construção do conhecimento do objeto envolve a curiosidade epistemológica, que inclui a capacidade crítica de observar, delimitar e cercar o objeto, além de comparar e fazer perguntas.

Portanto, a utilização dos equipamentos geradores no processo educativo permite ao educando uma compreensão mais ampla, significativa e crítica dos fenômenos físicos presentes no seu dia a dia a partir da manipulação e desmonte dos mesmos e em busca do entendimento de seus processos de fabricação e funcionamento (Bastos, 1990), por meio de aspectos técnicos

e práticos sem, inicialmente, se debruçar sobre as abordagens puramente teóricas e abstratas (Bazin, 1977a).

Com isso, no Ensino de Física, a Panela de Pressão pode ser um excelente equipamento gerador de discussões que levem à exploração de conceitos, leis e teorias científicas importantes para a compreensão abrangente e crítica do mundo ao redor, promovendo uma conscientização dos processos de produção tecnológica que afetam, em diversas dimensões (políticas, econômicas, sociais, históricas, culturais, tecnológicas etc.), o espaço social e as relações humanas que nele estão inseridas (Bastos, 1990; Bazin, 1977a).

A Panela de Pressão é um objeto comum na vida cotidiana das pessoas que pode ser utilizada para abordar diversos Conceitos Físicos como densidade, pressão, calor, temperatura, energia, torque etc., e diversos Fenômenos Físicos como transferência e transformação da energia, transições de fase, aquecimento, movimento rotacional, explosão etc. Além disso, a utilização da Panela de Pressão como Equipamento Gerador pode servir como uma importante ferramenta para a conscientização dos educandos sobre os riscos associados ao seu uso em ambientes domésticos ou profissionais, visto que muitas pessoas não conhecem os riscos associados ao uso inadequado da Panela de Pressão, o que pode levar a acidentes domésticos graves. Por isso, é importante que os estudantes tenham conhecimento sobre os fenômenos físicos relacionados ao funcionamento da Panela de Pressão, bem como sobre as medidas preventivas que devem ser adotadas para evitar acidentes.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo principal propor uma Sequência Didática de Ensino e Aprendizagem em Física por meio de uma abordagem dialógico-problematizadora baseada na utilização da Panela de Pressão como Equipamento Gerador à luz da Alfabetização Técnica, de modo a possibilitar reflexões abrangentes e críticas quanto às fenomenologias ocorridas durante o processo do cozimento dos alimentos, bem como do manuseio seguro e responsável desse utensílio doméstico.

Logo, por meio dessa proposta, espera-se contribuir para a formação integral de educandos críticos e reflexivos, capazes de compreender a Física de forma contextualizada e promover o pleno exercício da cidadania e o preparo para o mundo do trabalho, desenvolvendo competências e habilidades essenciais que possam ser estendidas para situações reais de leitura e escrita de mundo, conforme preconiza Brasil (2018) e Bahia (2022).

Sequência Didática

Áreas da Física a Serem Abordadas: Termologia e Mecânica

Objetos do Conhecimento a serem Trabalhados:

Grandezas e *Conceitos* Físicos:

- Energia térmica;
- Calor;
- Temperatura;
- Sistema Termodinâmico;
- Processo Termodinâmico;
- Densidade;
- Calor sensível;
- Capacidade térmica;
- Calor latente;
- Pressão;
- Ponto de ebulição;
- Trabalho;
- Torque;
- Momento Linear;
- Momento Angular;
- Força.

Fenômenos Físicos:

- Transferências de energia;
- Transformações de energia;
- Aquecimento;
- Propagação do calor;
- Transições de fases;
- Explosão.

Objetivo Geral:

Desenvolver uma proposta de um Ensino de Física humanizado e pautado na temática “A Física na Cozinha”, por meio da exploração das fenomenologias presentes durante o cozimento dos alimentos na Panela de Pressão.

Objetivos Específicos:

- Explorar Grandezas, Conceitos e Fenômenos Físicos associados ao processo de cozimento de alimentos na Panela de Pressão a partir de uma abordagem dialógico-problematizadora, bem como os benefícios e riscos em utilizá-la, por meio de reflexões abrangentes e críticas, considerando o contexto histórico e social que ela surgiu;
- Adaptar uma panela de pressão comum para realização de uma abordagem prática experimental que possibilite medir a temperatura e a pressão de ebulição da água em seu interior, de modo a ser um instrumental apropriado para a exploração e discussão de Grandezas, Conceitos e Fenômenos Físicos associados ao cozimento dos alimentos;
- Promover a centralidade e a participação ativa dos educandos no processo educativo de modo a proporcionar-lhes o desenvolvimento de competências e habilidades científicas necessárias para se manusear a Panela de Pressão de forma segura e responsável, bem como para que os mesmos possam fazer uma melhor leitura e escrita de mundo;
- Avaliar o processo de ensino e aprendizagem desenvolvido.

Habilidades da BNCC da Área de Conhecimento de Ciências da Natureza e suas Tecnologias a Serem Desenvolvidas:

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas (Brasil, 2018, p. 555).

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados

experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica (Brasil, 2018, p. 559).

(EM13CNT306) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza, para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos (Brasil, 2018, p. 559).

Tempo de Execução da SD: 1.300 minutos (26 aulas de 50 minutos cada).

A SD pode ser esquematizada em três etapas distintas, porém conectadas entre si, segundo Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2021). O Quadro 1 abaixo sistematiza os passos da SD a serem executados.

Quadro 1 – Organização sistemática da sequência didática de ensino e aprendizagem.

Momentos	Proposta	Encontros	Nº de Aulas	Duração
1ª Momento	Contextualização para o estudo da realidade	Do 1º ao 3º Dia	03	150 min
2ª Momento	Organização do conhecimento para o aprofundamento teórico	Do 4º ao 11º Dia	14	700 min
3ª Momento	Plano de ação para a aplicação do conhecimento	Do 12º ao 18º Dia	9	750 min
Total (Σ):		18 dias	26	1.300 min

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

1º Momento: Problematização Inicial

1º Dia: Aula 01 (introdutória)

Objetivo: Conhecer os objetivos e as atividades a serem desenvolvidas na SD voltada para um Ensino de Física pautado na problematização do uso da panela de pressão.

Apresente aos sujeitos da pesquisa (educandos de uma turma da 2ª série do Ensino Médio) a proposta da SD. Utilize o momento dessa aula para dar uma panorama geral de como será o desenvolvimento da SD, esclarecendo dúvidas e ponderando pontos relevantes. O espaço utilizado pode ser desde uma biblioteca, a sala de aula, um laboratório de informática, ou o que

achar melhor. É sugerido utilizar uma apresentação em slides para melhor ilustrar os principais momentos propostos para a SD.

Evidencie aos educandos os motivos e relevância social e científica da aplicação da SD, os objetivos geral e específicos de aprendizagem a serem atingidos, a metodologia a ser adotada para se atingir tais objetivos, as etapas da SD e as atividades (teóricas, experimentais, computacionais, produções textuais etc.) em grupos e individuais propostas que serão realizadas em cada uma dessas etapas e o que se espera de cada uma das etapas.

Aqui também vale salientar sobre a importância pedagógica de se estabelecer e compartilhar com os educandos os critérios de avaliação da aprendizagem que serão considerados, dando uma ênfase maior à avaliação formativa, conforme preconiza os documentos normativos *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN)* (Brasil, 1996), a *Base Nacional Comum Curricular (BNCC)* (Brasil, 2018) e o *Documento Curricular Referencial da Bahia* (Bahia, 2022). No entanto, sugere-se ao professor-pesquisador que o processo formativo (qualitativo) corresponda a 70% da avaliação da aprendizagem dos educandos, sob a consideração da participação ativa dos mesmos em todas as atividades propostas, a frequência durante toda a SD, a pontualidade, desenvoltura e desenvolvimento progressivo (processual) no que tange aos aspectos científicos (cognitivos) e humanos (socioemocionais) ao longo de toda a SD, e que 30% seria destinado à avaliação somativa (quantitativo), que é composta por dois testes escritos, sendo um de múltipla escolha e individual e o outro discursivo e em grupo. Ou seja, o peso das avaliações formativas é 0,70 e das avaliações somativas é 0,30. Esses foram os critérios utilizados pelo Autor (2024) desta SD.

2º Dia: Aula 02

Objetivo: Refletir sobre o uso da panela de pressão no preparo dos alimentos, levantando hipóteses (saberes prévios) e abrindo espaços para questionamentos acerca do assunto.

Aqui, destaca-se a importância do resgate dos conhecimentos/saberes prévios dos educandos como uma etapa crucial na prática educativa para se obter informações gerais sobre o que os educandos já sabem e entendem sobre determinado assunto, por meio de questionários impressos para respostas discursivas (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021; Delizoivoc, 1982; Freire, 1987; 2021).

O debate principal deverá ser focado na conscientização sobre os benefícios e riscos do uso da panela de pressão no preparo dos alimentos, bem como nas fenomenologias físicas presentes durante esse processo.

Como primeira atividade pedagógica, deve-se realizar uma roda de conversa com os educandos para dialogar sobre o roteiro das discussões a serem desenvolvidas, a fim de explorar seus saberes prévios com base em suas experiências e leituras de mundo (Delizoicov; Angotti, 2021; Freire, 2020).

Para realizar essa atividade diagnóstica recomendo o uso de recursos didático-metodológicos, como um roteiro de perguntas (a seguir) que pode ser impresso ou apresentado em dispositivos audiovisuais, como aparelho de televisão ou Datashow, de acordo com a disponibilidade de recursos do professor e/ou da escola. Os questionamentos deverão ser levantados e direcionados a todos da turma, sem preferencialismo(s). Além disso, os educandos devem ser incentivados a todo momento a dialogar entre eles e com o professor sobre o que está sendo questionado ou colocado em pauta para discussão. Portanto, é essencial que o professor registre as respostas dos participantes por meio de instrumentos de obtenção de dados como dispositivos audiovisuais, celular ou outro aparelho, e/ou anotações em diário de bordo de observações realizadas, ou o que for melhor a critério de cada professor. Abaixo segue o roteiro de perguntas utilizados nesta SD com os educandos.

Roteiro para Discussão em Sala e Identificação dos Saberes Prévios dos Educandos

- 1) Você possui alguma experiência na cozinha? Se sim, comente um pouco sobre.
- 2) Quais são os tipos de panelas que podemos utilizar na cozinha no preparo dos alimentos? Comente sobre a principal diferença entre elas.
- 3) Quais são os fatores que influenciam o processo de cozimento dos alimentos?
- 4) Quando o assunto é “acidentes domésticos” durante o cozimento dos alimentos, qual o utensílio doméstico que primeiro, ou mais, lhe vem em mente? Comente um pouco sobre.
- 5) Você conhece alguém que passou por uma situação no qual a panela de pressão explodiu? Se sim, comente como foi, caso saiba alguns detalhes.
- 6) Por que, em alguns casos esporádicos, a panela de pressão explode?
- 7) Você sabe dizer se existe alguma coisa de diferente na panela de pressão que faz os alimentos serem cozidos mais rápido do que uma panela comum? Se sim, comente um pouco sobre isso.

- 8) Você já tentou abrir a tampa da panela de pressão logo após desligar o fogo, depois que o alimento foi cozido? Se sim, o que você notou e como explicaria isso? Pode também comentar uma situação do tipo observada, se caso nunca tentou fazer isto.
- 9) Por que algumas pessoas molham a panela de pressão em baixo da pia assim que a retira do fogo? Você já fez isso ou presenciou alguém fazendo?
- 10) Por que algumas pessoas abaixam o fogo quando a água começa a ferver na panela ou quando a panela de pressão começa a “apitar/chiar”, durante o preparo de algum alimento? Qual sentido isto tem para você?

Para garantir o engajamento dos educandos nas atividades propostas é essencial manter um diálogo constante e incentivar a participação ativa dos mesmos (Delizoicov; Angotti, 2021; Freire, 1987).

Para um melhor andamento das discussões é recomendável abordar cada item do roteiro separadamente e destacar a importância de registrar as falas dos educandos em um diário de bordo ou por meio de gravações de áudio e/ou vídeo, sempre dando pequenas pausas para descontração entre uma discussão e outra. No entanto, é importante lembrar que as questões a serem abordadas, apesar de sugeridas, não são padronizadas e podem haver ramificações para outras áreas temáticas, modificações ou até mesmo novas inclusões, a critério de cada professor e realidade local.

3º Dia: Aula 03

Objetivo: Dialogar sobre o uso da panela de pressão no preparo dos alimentos por meio de questionamentos que serão respondidos em grupos, a fim de obter seus sabres prévios.

Para essa SD, sugere-se a formação democrática de grupos de estudos colaborativos para a realização das atividades propostas ao longo da maior parte da SD. Portanto, haverá avaliações da aprendizagem dos educandos que ocorrerão de forma coletiva (grupos) ao longo da SD. No entanto, também haverá avaliações da aprendizagem que ocorrerão de forma individualizada.

Os educandos irão formar grupos seguindo o critério da afetividade entre eles. Os grupos irão escolher livremente nomes ou palavras para identificar cada um deles, mas com a exigência única de que esses nomes ou palavras devem obrigatoriamente estar associados ao contexto

histórico, cultural ou ambiental de sua cidade. Isso é necessário para se evitar nomes ou palavras impróprias. Além do mais, cada grupo deverá ser composto por um número igual de membros.

Para dar continuidade a essa atividade, os educandos terão a oportunidade de manusear uma panela de pressão real convencional e sem adaptações (equipamento gerador), desmontando suas partes e anotando curiosidades relevantes para pesquisas futuras dentro da SD (Bastos, 1990). Em seguida, serão apresentadas seis problematizações relacionadas ao uso da panela de pressão, a saber:

Questões Norteadoras da SD

- 1) Por que os alimentos cozinham mais rápido na panela de pressão do que numa comum?
- 2) Existem riscos associados ao uso da panela de pressão? E benefícios? Se sim, quais são e por quê?
- 3) É importante cozinhar os alimentos antes de consumi-los? Se sim, diga o porquê disso.
- 4) Quais são as condições que fazem um alimento cru ficar cozido?
- 5) Acidentes envolvendo o uso da panela de pressão são comuns? Eles podem ser fatais? Comente sobre isso.
- 6) Quais medidas preventivas devemos tomar afim de minimizar os riscos de acidentes domésticos durante o cozimento dos alimentos na panela de pressão?

É fundamental que o professor mantenha os educandos engajados e os encoraje a apresentar suas hipóteses e levantar novas questões sobre o assunto, o que pode levar a novas descobertas e desdobramentos. É importante salientar que os mesmos devem se sentir livres para explorar a temática de maneira autônoma e coletiva, sem medo de se expressar e de propor novas ideias. Dessa forma, a atividade torna-se mais dinâmica e participativa, contribuindo para uma aprendizagem mais significativa (Delizoicov; Angotti, 2021; Freire, 1987; Moreira, 2010).

Ao final desse primeiro momento o professor pode criar, junto à turma, um mapa conceitual ou mental a respeito do cozimento dos alimentos na panela de pressão, como forma de auxiliar o processo de avaliação da aprendizagem inicial, ou seja, na avaliação diagnóstica dos saberes prévios dos mesmos. Contudo, a criação do mapa conceitual fica a critério do professor, podendo ser utilizadas outras formas como mapas mentais, resumos, diagramas, arguição oral etc. Ou então, pedir aos educandos que façam um mapa mental ou conceitual de forma individual ou em grupos. Esse mapa mental ou conceitual pode ser construído no quadro branco a partir do que os educandos responderam nos questionários. Porém, o mesmo pode ser

construído por meio de recursos computacionais, a critério do professor e disponibilidade de equipamentos e local. Esse mapa conceitual inicial poderá ser usado para comparar com um segundo mapa conceitual, que será feito coletivamente ao final do processo, no terceiro momento pedagógico, afim de avaliar qualitativamente o progresso da aprendizagem dos conceitos e fenômenos físicos estudados ao longo da SD. Caso o professor não queira utilizar os mapas conceituais, poderá ser feita essa análise a partir das respostas dos questionários de forma direta ou utilizando outros recursos didáticos, conforme supracitado ou preferência do professor.

2º Momento Pedagógico: Organização do Conhecimento

4º Dia: Aula 04

Objetivos:

- Discutir sobre como o conceito de energia foi e é fundamental para o desenvolvimento da Humanidade, sobretudo quanto ao preparo dos alimentos;
- Conhecer um pouco sobre o contexto histórico da panela de pressão, seu funcionamento, riscos e medidas preventivas;
- Identificar os tipos de transformações físicas ocorridas durante o cozimento dos alimentos na panela de pressão.

Para a primeira aula, o professor deve pedir aos educandos que façam uma leitura do Texto 1. Este texto, gerado com a ajuda do sistema de inteligência artificial ChatGPT desenvolvido e administrado pela Openai (2021), baseado na arquitetura GPT-3.5, pode ser disponibilizado de forma impressa ou em formato digital em PDF para os educandos acessarem por seus celulares ou mostra-lo por meio de um aparelho de televisão ou Datashow, caso haja.

Texto 1 - A Energia como Pilar Central da Civilização

A energia é um conceito universal que desempenha um papel fundamental em todos os aspectos da nossa vida. Ela está presente em todas as formas de atividade, desde os processos naturais até as

realizações humanas. Ao longo da história, o conceito de energia evoluiu, e seu entendimento tem sido aprimorado ao longo do tempo.

Há aproximadamente 150 mil anos os seres humanos viviam praticamente como os outros animais, utilizando apenas o que conseguiam retirar da natureza.

O Sol era a única fonte de luz e de calor, e seu alimento consistia de frutos das árvores e de carne crua, pois ainda não sabiam como produzir e dominar o fogo. A energia do Sol é a principal responsável pela manutenção da vida em nosso planeta, seja por permitir que haja água líquida, fundamental para que a vida se desenvolva, seja por meio da fotossíntese realizada pelas plantas.

A fotossíntese é uma reação química realizada pelas plantas que usa a energia solar para capturar o gás carbônico presente na atmosfera e liberar o gás oxigênio ao produzir compostos como glicose, que servem de alimento para outros seres vivos.

A luta pela sobrevivência implica uma permanente busca de recursos na natureza, o que requer considerável quantidade de energia. Como grande parte da energia corporal (em média 60%) é usada para manter a temperatura do nosso corpo estável, a sobrevivência do homem primitivo dependia basicamente do balanço energético, ou seja, da diferença entre a energia obtida dos alimentos e a energia que era gasta pelo corpo.

A caça e a pesca eram realizadas sem o uso de instrumentos elaborados, o que requeria uma quantidade ainda maior de energia corporal para capturar e matar suas presas.

De acordo com achados arqueológicos, o homem primitivo começou a dominar o fogo há cerca de 20 mil anos, tornando sua vida menos difícil. Este conhecimento possibilitou-lhe enxergar durante a noite e se proteger de predadores, além de fornecer calor, fundamental para aquecer o ambiente em dias frios e cozinhar os alimentos, facilitando a digestão e eliminando micro-organismos patogênicos.

Outra grande revolução que ocorreu na vida do homem foi o advento da agricultura, há cerca de 15 mil anos. Com a invenção do

arado, foi possível também aproveitar a força muscular dos animais para realizar o trabalho de lavrar a terra.

Com o cultivo da terra, o homem deixou de ser essencialmente nômade e passou a se estabelecer em regiões próximas aos grandes rios, onde a terra era mais úmida e fértil. Além disto, o homem também se dedicou à criação de animais, como o gado.

Devido à agricultura, o homem passou a armazenar a energia radiante do Sol ao estocar alimentos para distribuição e consumo, conforme sua necessidade.

Os primeiros instrumentos de ferro foram feitos (forjados ao fogo) há aproximadamente 5 mil anos, ampliando a capacidade de derrubar florestas e sulcar terras mais duras, expandindo a atividade agrícola para além das margens dos rios.

A construção histórica do conceito de energia remonta a séculos atrás. Desde a antiguidade, filósofos e cientistas têm explorado e debatido sobre o poder misterioso que impulsiona o mundo. No século XIX, o físico britânico William Thomson (Lord Kelvin) introduziu o termo "energia" para descrever a capacidade de um sistema de realizar trabalho. Essa definição ampliou nosso entendimento sobre a natureza da energia.

Desde os primórdios da humanidade, a utilização da energia tem sido essencial para nossa sobrevivência e desenvolvimento. Desde a queima de madeira para obter calor e cozinhar alimentos, até a domesticação do fogo para iluminação, os primeiros seres humanos utilizaram diferentes formas de energia para suprir suas necessidades básicas. Com o tempo, a energia foi canalizada para diversas finalidades, incluindo o desenvolvimento da agricultura, a criação de ferramentas e a invenção de máquinas.

Existem diferentes tipos e formas de energia. A energia mecânica é composta por duas modalidades de energia, sendo a energia cinética associada ao movimento de objetos, enquanto a energia potencial refere-se à energia armazenada em um sistema. Já a energia térmica é a energia associada às movimentações das moléculas

de um corpo, estando, de certo modo, relacionada com a temperatura desse corpo.

Quando objetos com temperaturas diferentes estão em contato térmico, haverá um fluxo espontâneo de energia térmica, chamado calor, do corpo de maior para o de menor temperatura. Além disto, existe outras modalidades de energia, como a energia elétrica, a energia química presente nos compostos químicos (nos alimentos, por exemplo), a energia nuclear contida nos núcleos dos átomos, a energia luminosa do Sol, a energia sonora etc.

A conservação da energia é um princípio fundamental na Física. Segundo a Lei da Conservação da Energia, a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada de uma forma para outra ou transferida de um lugar para outro. Isto significa que a quantidade total de energia em um sistema isolado permanece constante ao longo do tempo. Essa lei nos ajuda a entender como a energia flui e se transforma em diferentes processos.

A transformação e a transferência de energia são processos essenciais em muitas atividades humanas. Por exemplo, em uma usina hidrelétrica, a energia potencial gravitacional da água armazenada em uma represa é convertida em energia cinética de rotação nas turbinas, movimentando-as, fazendo girar o rotor que converte esta energia cinética de rotação em energia elétrica. Da mesma forma, a eletricidade que chega nas tomadas de nossas casas, indústria etc., é devido às transformações e transferência de energia ocorre ocorridas.

Em particular, o uso da energia na preparação de alimentos teve um impacto significativo na saúde e sobrevivência da espécie humana. Antes do domínio do fogo, nossos antepassados dependiam de alimentos crus, limitando suas opções alimentares e dificultando a digestão de certos alimentos. Com a descoberta do fogo e o desenvolvimento de técnicas de cozimento, os seres humanos puderam tornar os alimentos mais palatáveis, aumentar sua disponibilidade nutricional e facilitar sua digestão.

O cozimento dos alimentos, graças ao uso da energia (térmica), possibilitou o amolecimento de fibras vegetais, a destruição de

microrganismos patogênicos e a desnaturação de proteínas, tornando os alimentos mais seguros e nutritivos. Isso permitiu que nossos antepassados diversificassem sua dieta, absorvendo mais nutrientes e energia dos alimentos. Essa mudança alimentar teve um impacto direto na evolução do nosso cérebro e no desenvolvimento da espécie humana.

A dependência humana da energia é evidente em todos os aspectos da nossa vida moderna. Desde o fornecimento de eletricidade para iluminação e uso de dispositivos eletrônicos até a utilização de combustíveis para transporte e aquecimento, estamos constantemente dependentes da energia para atender às nossas necessidades diárias. A falta de acesso à energia pode limitar o desenvolvimento econômico, social e educacional das comunidades.

No Século XIX, um físico inglês chamado James Joule (1818 – 1889), desempenhou um papel fundamental na compreensão da relação entre a energia mecânica e calor. Joule estava determinado a investigar a natureza da energia e demonstrar que o calor era uma forma de energia e não uma substância misteriosa como se acreditava na época. Tal substância misteriosa era conhecida como “calórico”.

Joule desenvolveu um aparelho chamado calorímetro, que consistia em um recipiente de água isolado termicamente e equipado com pás giratórias. Ele conduziu uma série de experimentos nos quais aplicou trabalho mecânico às pás, fazendo-as agitar a água dentro do calorímetro.

A experiência consistia no seguinte: o atrito das pás giratórias contra a água do calorímetro deveria aquecê-la, uma vez que ela oferecia certa resistência ao movimento das pás. Esta operação foi repetida 16 vezes e, em seguida, a temperatura da água foi medida com auxílio de um termômetro extremamente sensível, capaz de detectar diferenças de temperaturas de 0,01 °F.

Ao medir a temperatura da água antes e depois da agitação, Joule observou que a temperatura aumentava. Isso o levou a concluir que o trabalho mecânico realizado pelas pás estava sendo convertido

em energia térmica, aumentando a energia cinética das moléculas de água e, conseqüentemente, elevando a temperatura.

Com base nessas observações, Joule estabeleceu uma relação quantitativa entre a energia mecânica e o calor. Ele determinou que uma certa quantidade de trabalho mecânico correspondia a uma quantidade específica de calor produzido. Essa relação foi denominada de equivalente mecânico do calor.

O valor estabelecido por Joule para o equivalente mecânico do calor foi de aproximadamente 4,186 joules por caloria. Isso significa que 4,186 joules de energia mecânica são equivalentes a uma caloria de energia térmica.

Essa descoberta de Joule teve um impacto revolucionário no campo da Física e estabeleceu a base para a compreensão da conservação da energia. Sua experiência demonstrou que a energia é uma grandeza universal que pode se manifestar em diferentes formas, como energia mecânica e calor. Essa compreensão foi essencial para o desenvolvimento posterior das leis da termodinâmica e para a evolução da ciência da energia.

Após a leitura e discussão do texto, é importante que o professor dialogue com os educandos sobre a importância do uso da energia para o preparo dos alimentos, destacando como o calor é uma forma de energia que é transferida da panela para a água e da água para os alimentos por meio do processo de condução e por meio do processo de convecção apenas no último caso (da água para os alimentos), permitindo o seu cozimento e eliminando microrganismos prejudiciais à saúde.

Uma forma alternativa da dinâmica é o professor ir discutindo partes individuais do texto separadamente com os educandos, e ir avançando à medida que conclui cada discussão, promovendo a participação ativa dos mesmos, tanto na leitura quanto nos momentos de reflexão e discussão. Portanto, é fundamental que o professor promova a liberdade para que os educandos possam fazer questionamentos extras sobre o texto e o tema em questão (Delizoicov; Angotti, 2021; Freire, 1987).

O professor deverá abordar brevemente a origem e a evolução da panela de pressão ao longo do tempo, ressaltando aspectos relacionados aos fenômenos térmicos envolvidos no processo de cocção (cozimento dos alimentos por meio do mecanismo calor). Dessa forma, os

educandos terão a oportunidade de ampliar seus conhecimentos sobre o assunto e compreender como a tecnologia evoluiu ao longo dos anos para tornar o processo de cozimento mais eficiente e seguro. Isso os ajudará a refletir que a Ciência é um processo inacabado, com falhas, em constante evolução e não um produto final perfeito.

Para isto, sugere-se utilizar o Texto 2, gerado também com a ajuda do sistema de inteligência artificial ChatGPT, desenvolvido e administrado pela Openai (2021), baseado na arquitetura GPT-3.5:

*Texto 2 - Panela de Pressão: Conheça a História e a Ciência por
Trás do seu Funcionamento*

A panela de pressão é um utensílio culinário muito usado atualmente. Contudo, seu precursor, o digestor de Papin, foi inventado no século XVII no ano de 1679 – por Denis Papin, um físico e matemático francês que trabalhava na Royal Society em Londres. A ideia original de Papin era estudar a pressão do vapor gerada ao invés de cozinhar alimentos mais rapidamente e de maneira mais eficiente. Ou seja, seu objetivo inicial era apenas estudar como a temperatura de ebulição da água estava associada à pressão sobre ela, baseado na Lei de Boyle-Mariotte. Além disso, seu invento serviu de inspiração para a criação da máquina a vapor, crucial para o início da I Revolução Industrial, ocorrida de 1769 até 1850.

Devido a isso a panela de pressão foi inicialmente concebida como uma ferramenta científica e não como um utensílio doméstico. No entanto, ao longo dos anos, a ideia se espalhou e a panela de pressão se popularizou tanto que se tornou um item quase que obrigatório em muitas cozinhas ao redor do mundo.

O próprio Papin preparou a primeira refeição feita sob alta pressão em seu digestor. Essa mesma refeição foi servida a intelectuais da Royal Society em Londres, pouco tempo depois dele inventar seu digestor.

Ao longo dos anos, a panela de pressão passou por várias melhorias tecnológicas. As primeiras panelas de pressão eram feitas de ferro fundido e eram bastante pesadas. Hoje em dia, as panelas de

pressão são feitas de materiais mais leves, como alumínio ou aço inoxidável, e uma tampa com uma válvula de segurança, uma junta de vedação e uma válvula que permite controlar a pressão no interior da panela.

O princípio de funcionamento básico da panela de pressão é subsidiado pela Termodinâmica, área da Física responsável pelo estudo dos fenômenos térmicos. Quando a água é aquecida em um recipiente hermeticamente fechado, a pressão do vapor aumenta internamente. Quando esta pressão de vapor dentro da panela de pressão atinge um nível suficientemente alto, a temperatura de ebulição da água aumenta e os alimentos são cozidos em uma temperatura mais elevada do que seria possível em uma panela comum. E é por este fato que a panela de pressão é especialmente útil para cozinhar alimentos mais duros, ou seja, que requerem longos períodos de cozimento, como grãos, feijão, raízes como mandioca, carnes duras etc. Ela também é ótima para cozinhar alimentos em grandes quantidades, como sopas e ensopados, em um curto espaço de tempo.

Durante o preparo dos alimentos, a energia térmica é a mais utilizada, pois é necessária para que ocorram as reações químicas que transformam os alimentos crus em alimentos cozidos. Essa reação química é conhecida como reação de Maillard, e é responsável por dar aquelas crostinha dourada nos alimentos. A energia térmica é transferida por meio do calor, que é a energia em trânsito de um corpo para outro em função exclusiva da diferença de temperaturas entre eles.

No caso do cozimento de alimentos em panelas comuns, a transferência de calor é realizada principalmente por condução térmica, ou seja, a panela é aquecida pelo fogo e transfere o calor para o alimento por meio do contato direto. Em contrapartida, a panela de pressão utiliza um sistema de aumento da pressão interna, que eleva o ponto de ebulição da água, fazendo-a “ferver” a temperaturas maiores do que se estivesse sendo fervida à pressão atmosférica local. E este fato acelera o processo de cozimento dos alimentos, visto que a energia

térmica da água aumenta e, conseqüentemente, sua transferência para os alimentos em seu interior também.

Além disso, é importante destacar a importância de se cozinhar os alimentos antes de consumi-los, pois isso elimina ou reduz os microrganismos presentes nos alimentos que podem causar doenças. O cozimento também ajuda a quebrar as fibras dos alimentos, tornando-os mais fáceis de digerir e absorver pelo organismo.

Além das transformações físicas envolvidas no processo dos alimentos, temos a termólise, que é um processo químico que ocorre quando uma substância é decomposta pela ação do calor. Esse processo é observado no cozimento dos alimentos, quando o calor é aplicado às proteínas, carboidratos e outros compostos presentes nos alimentos. Durante a termólise, as ligações químicas que mantêm esses compostos unidos são quebradas, liberando átomos e moléculas.

No caso das proteínas, a termólise resulta na desnaturação das proteínas, que perdem sua estrutura tridimensional e se desdobram em cadeias de aminoácidos. Esse processo é importante no cozimento de alimentos como carne, ovos e feijão, onde a desnaturação das proteínas ajuda a torná-los mais macios e digeríveis.

Além disso, a termólise também pode causar a decomposição de vitaminas e outros nutrientes sensíveis ao calor, o que pode reduzir o valor nutricional dos alimentos cozidos em excesso. Por isso, é importante controlar a temperatura e o tempo de cozimento dos alimentos para evitar a perda de nutrientes.

Portanto, isso nos mostra como a panela de pressão pode ser usada como um dos vários exemplos de como a Ciência e a Tecnologia podem ser aplicadas para tornar a vida cotidiana mais fácil e eficiente. Desde a sua invenção, ela tem sido uma ferramenta valiosa na cozinha, permitindo que as pessoas cozinhem alimentos mais rapidamente, possibilitando economia de tempo e energia, além de proporcionar uma maior garantia na eliminação de microrganismo que podem fazer mal à nossa saúde.

No entanto, o uso da panela de pressão pode apresentar alguns riscos à segurança, ainda que em casos esporádicos. A alta pressão no

interior da panela pode causar a ruptura do utensílio, resultando em um acidente grave, que pode levar até mesmo à morte, como tem ocorrido recentemente. Além disso, a tampa da panela só deve ser aberta quando a pressão no interior foi liberada naturalmente, caso contrário, o vapor pode causar queimaduras graves. Não o bastante, as panelas feitas de alumínio podem representar algum dado ao sistema nervoso humano.

Para garantir a segurança ao utilizar a panela de pressão, é importante seguir algumas precauções. Antes de usar a panela, verifique se a tampa e a válvula de segurança estão em bom estado e se ajustam corretamente na panela. É essencial ler atentamente as instruções do fabricante e respeitar as limitações de uso. Manter a válvula de controle de pressão sempre limpa reduz muito os riscos de acidentes. Trocar a borracha de vedação anualmente também é necessário para um bom funcionamento da panela de pressão.

A panela nunca deve ser deixada sem supervisão durante o uso e é importante respeitar o tempo de liberação da pressão antes de abrir a tampa. Outro fator importante é sempre procurar o selo ou rótulo de qualidade do INMETRO na panela, quando for adquiri-la.

Após a leitura dos textos, é recomendável que o professor conduza uma discussão com os educandos para que possam refletir sobre o tema abordado e expressar suas dúvidas e opiniões. Para tanto, é importante que o professor estimule a participação ativa dos mesmos, deixando espaço para possíveis questionamentos e observações (Freire, 1987; 2020).

5º Dia: 5ª, 6ª e 7ª Aulas

Objetivos:

- Identificar as variáveis termodinâmicas e mecânicas relacionadas ao processo de cozimento dos alimentos na panela de pressão;
- Discutir sobre a influência da pressão no tempo de cozimento dos alimentos na panela de pressão;

- Promover reflexões que possibilitem desenvolver consciência com relação ao manuseio seguro e responsável com a panela de pressão.

Para esse dia, foram utilizadas 03 (três) aulas seguidas de 50 min cada. No entanto, cada uma dessas aulas pode ser desenvolvida em dias diferentes e subsequentes. Abaixo segue um roteiro com algumas perguntas que podem fazer parte da discussão com relação às leituras dos textos 1 e 2 lidos e discutidos na aula anterior e que deve ser respondido durante a primeira aula deste dia (5ª aula) e em grupos.

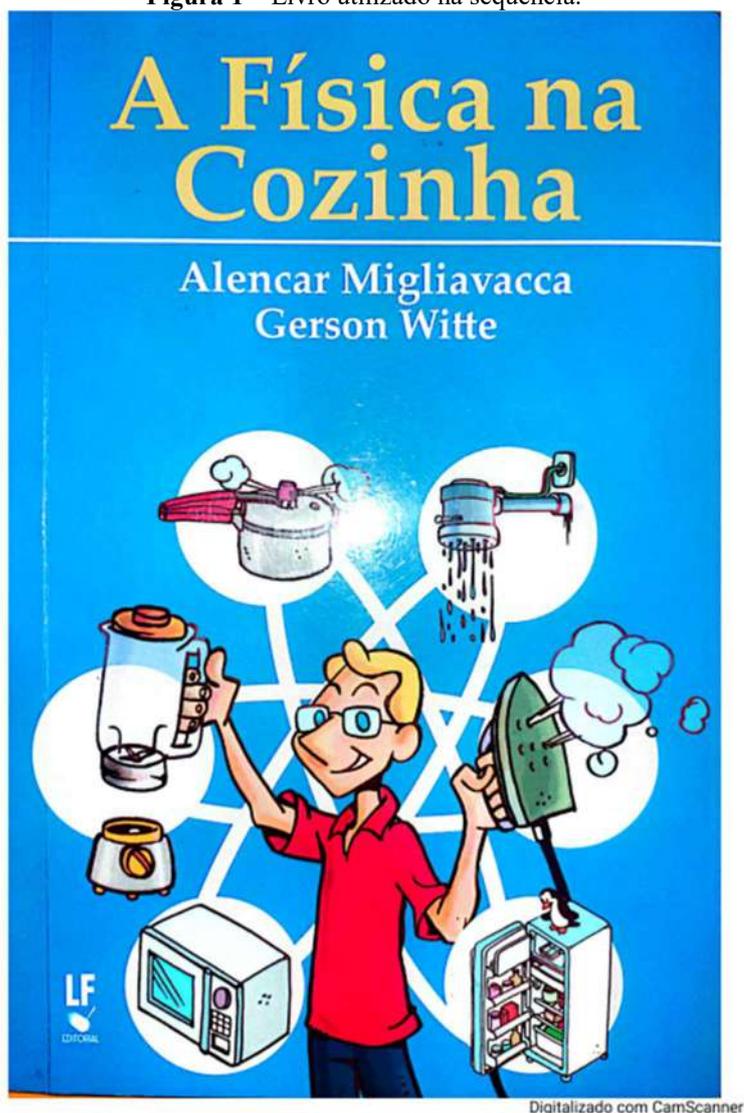
Roteiro para Discussão

- 1) Qual é a importância do uso da energia no preparo dos alimentos?
- 2) O que a panela de pressão faz para que os alimentos cozinhem mais rápido? E como isso ocorre?
- 3) Como o uso da energia ajudou no desenvolvimento da civilização?
- 4) Quais são as vantagens em se utilizar a panela de pressão hoje em dia? E por quê?
- 5) Baseado nas reflexões e discussões realizadas sobre os dois textos apresentados, o que você conseguiu entender sobre o conceito de energia? Comente um pouco sobre.
- 6) Quais são as transformações físicas que você identifica que foram tratadas nos textos? Os textos tratam apenas de transformações físicas? Comente um pouco sobre.

Para a segunda aula deste dia (6ª aula) será proposto aos educandos que realizem a leitura do texto “A Panela de Pressão” (Anexo A), presente no capítulo 3 do livro “A Física na Cozinha” (Figura 1) de Migliavacca e Witte (2014). Para que todos tenham acesso ao texto, o professor deverá providenciar algumas cópias impressas para distribuir entre os educandos. O texto digitalizado encontra-se no Anexo.

Após a leitura, os educandos devem ser incentivados a identificar e listar os conceitos físicos abordados no texto referido. O objetivo é que eles compreendam como esses conceitos estão presentes em uma atividade cotidiana, como o preparo de alimentos na panela de pressão. Para tanto, o professor deverá promover um diálogo com os educandos, a fim de que possam compartilhar suas observações e ideias sobre o tema.

Figura 1 – Livro utilizado na sequência.



Fonte: Acervo pessoal do Autor (2024).

Após a leitura e realização desta primeira parte da atividade, é fundamental que o professor estimule um diálogo entre os educandos sobre as ideias extraídas do texto e seus pontos mais relevantes, como os conceitos e fenômenos físicos envolvidos no preparo dos alimentos na panela de pressão (Delizoicov, 1982; Solino; Gehlem, 2015; Araújo, 2021; Bastos, 1995). Esse diálogo pode ajudar a consolidar o entendimento dos estudantes sobre o tema, bem como permitir a troca de informações e experiências entre eles. Além disso, o professor pode aproveitar a oportunidade para tirar dúvidas e complementar as informações abordadas no texto.

Por fim, na terceira e última aula para este dia (7ª aula), serão passados 03 (três) vídeos. O primeiro deles é *Os mortos do Everest, a panela de pressão e a temperatura de ebulição da água*, com duração de 12 minutos e 27 segundos, que aborda a influência da pressão na temperatura de ebulição da água e conseqüentemente no tempo de cozimento dos alimentos.

Este vídeo se encontra na plataforma do YouTube, podendo ser acessado pelo link <https://www.youtube.com/watch?v=ZNlZ6Sggrgs>. O segundo vídeo que deverá ser utilizado é *Simulação Explosão Panela de Pressão*, com duração de 01 minuto e 10 segundos, e que aborda as causas da explosão da panela de pressão, bem como pode ser evidenciado os padrões de danos causados pela mesma, que mais tarde será usado para abordar as Leis de Newton, a Lei da Conservação da Energia Mecânica e a Lei da Conservação do Momento Linear. Este vídeo também encontra-se na plataforma do YouTube, podendo ser acessado pelo link <https://www.youtube.com/watch?v=cHE0etbLfpA>. O terceiro e último vídeo é *Brasil tem 1.200 acidentes com panelas de pressão por ano*, com duração de 03 minutos e 35 segundos, e servirá de ponto de partida para discussões associadas aos riscos e cuidados que devemos ter ao manusear a panela de pressão. Este vídeo também encontra-se na plataforma do YouTube e pode ser acessado por meio do link <https://www.youtube.com/watch?v=RxiEyQOwHZ4&t=1s>. Recomenda-se baixar os três vídeos antes e levá-los em um pen drive para conectar ao aparelho de televisão da escola, evitando possíveis falhas devido à falta de conexão com a internet da escola, caso haja. Após assistir aos vídeos propostos, é de suma importância iniciar e incentivar um diálogo com os educandos sobre pontos cruciais mostrados nos vídeos, com possíveis esclarecimentos de eventuais dúvidas dos mesmos.

6º Dia: 8ª Aula

Objetivo: Compreender as fenomenologias físicas ocorridas durante o processo de cozimento dos alimentos na panela de pressão, bem como em uma provável situação de explosão da mesma.

Para essa aula, o professor irá realizar uma aula expositiva, ou da forma que achar mais conveniente ao perfil de sua turma, sobre as fenomenologias ocorridas durante o processo de cozimento dos alimentos na panela de pressão, bem como uma explicação também sobre o fenômeno físico de uma possível explosão da mesma. Os tópicos abordados podem ser desde os processos de transferência (condução e convecção térmica) e transformação de energia (energia térmica em energia mecânica “trabalho” durante a expansão dos vapores que erguem a válvula reguladora de pressão), o aquecimento (calor sensível), transições de fases, como a vaporização “ebulição” da água no interior da panela e condensação do vapor de água na parte inferior da tampa da panela de pressão (calor latente), aumento da pressão interna na panela de pressão e sua relação com o ponto de ebulição da água, dissipação de energia (energia térmica

dos vapores em escape através da válvula reguladora de pressão, em energia sonora), sistema termodinâmico (panela e tudo que há dentro dela é um sistema, o ar envolta dela é o meio externo, as regiões externas adjacentes à panela são as fronteiras desse sistema por onde ocorrem as trocas de energia na forma de calor e trabalho etc.) e a explosão da panela de pressão sendo explicada por meio das Leis de Newton, Princípio da Conservação da Energia Mecânica e Princípio da Conservação do Momento Linear.

7º Dia: 9ª Aula

Objetivo: Compreender como ocorre a explosão da panela de pressão por meio de conhecimentos físicos sistemáticos.

Para essa aula, o professor deverá utilizar os momentos de discussões da aula anterior para propor um diálogo reflexivo com os educandos a respeito da explosão da panela de pressão (Araújo; 2021; Bastos, 1995; Delizoicov; Muenchen, 2013). Além disso, devem ser utilizados os momentos de discussões referentes aos vídeos da 7ª aula sobre a física envolvida no tempo de cozimento dos alimentos na panela de pressão, bem como dos acidentes que eventualmente ocorrem com ela. Propor reflexões abrangentes e críticas embasadas no conhecimento físico estudado na aula anterior. Abaixo tem um roteiro que pode ser utilizado pelo professor para direcionamento das discussões. No entanto, esse questionário pode ser adaptado segundo percepções e necessidades do professor com relação à sua turma.

Roteiro

- 1) Quais são os possíveis danos materiais que a explosão da panela de pressão pode causar?
- 2) Você notou se há algum padrão dos danos causados em acidentes envolvendo a panela de pressão? Se sim, qual é esse padrão?
- 3) Se sua resposta anterior for “sim”, explique cientificamente o porquê desse padrão ocorrer.
- 4) O que faz uma panela de pressão explodir? Faça uma descrição sobre isso, segundo a Física.

8º Dia: 10ª, 11ª e 12ª Aulas

Objetivo: Exercer a prática experimental com a panela de pressão adaptada para entendimento concreto do funcionamento da mesma e das fenomenologias envolvidas em seu funcionamento.

Para a primeira aula deste dia (10ª aula), o professor deverá ser apresentar pessoalmente aos educandos a panela de pressão alvo da pesquisa, já toda adaptada para aferir temperatura e pressão em seu interior (Nunes, 2017), conforme Figura 2 abaixo. No entanto, este momento em particular deverá ser utilizado para que os educandos possam manipular o equipamento gerador (Bastos, 1990; José; Darlon, 2022; Angotti; Bastos; Mion, 2001; Auth *et al.*, 1995; Bazin, 1977a) e conhecer os instrumentos de medidas (manômetro e termômetro) instalados em sua tampa, para que possam discutir a respeito de suas funcionalidades e também sobre a funcionalidade das partes principais da panela de pressão (borracha de vedação, válvula de segurança, válvula de controle de pressão, tampa e corpo da panela de pressão) de forma reflexiva e crítica (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2021; Freire, 1987; Bastos, 1990). Além disso, é fundamental o professor abordar sobre as medidas de segurança para evitar acidentes com a panela de pressão.

Figura 2 – Elementos para confecção da maquete experimental (fotos superiores). Maquete experimental concluída (foto inferior). *Obs.:* Faltaram nas fotos as arruelas que foram no termômetro de rosca.



Fonte: Tiradas pelo Autor (2024).

Concluída essa parte, o professor deverá propor a primeira parte da atividade prática experimental envolvendo a panela de pressão adaptada, que pode ser iniciada ainda na 10ª aula. Esta atividade consiste em estimar teoricamente, por meio de cálculos matemáticos, a pressão interna que a panela adaptada por gerar, bem como o valor de temperatura de ebulição da água que essa pressão pode acarretar em seu interior. Para isso, o professor deverá seguir o roteiro experimental proposto abaixo, imprimindo cópias para cada um dos grupos formados durante a 3ª aula do Primeiro Momento Pedagógico.

Atividade de Estimativa do Ponto de Ebulição da Água no Interior da Panela de Pressão Real

- 1) Use a balança para aferir a massa, m , da válvula reguladora de pressão da panela de pressão. Em seguida converta esse valor, em gramas, para quilogramas. Dado: $1 \text{ kg} = 1.000 \text{ g}$.
- 2) Meça, com a régua, ou paquímetro, o diâmetro interno do orifício de saída de vapor do pino central da tampa da panela de pressão. Em seguida, converta esse valor, obtido em milímetros, para metros, e logo após divida o resultado por 2 para obter o raio, r . Dado: $1 \text{ m} = 1.000 \text{ mm}$.
- 3) Identifique a forma geométrica da área, A , de saída dos vapores no pino central e calcule-a por meio da equação $A = \pi r^2$, de contato entre os vapores e a base da válvula reguladora de pressão. Use $\pi = 3,14$.
- 4) Calcule o peso, P , da válvula reguladora de pressão. Use $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (aceleração da gravidade local). Utilize a expressão matemática: $P = m \times g$.
- 5) Calcule a pressão gerada pelos vapores sobre a válvula reguladora de pressão durante a iminência do escape. Considere a área de contato como sendo igual a área calculada de saída de vapor pelo pino central, calculada no item 3. Utilize a expressão matemática abaixo.

$$p_{vap} = \frac{P}{A}$$

- 6) Some o valor de pressão obtido com o valor da pressão atmosférica local para obter a pressão interna, p , da panela de pressão. Use $p_{atm} = 101.325 \text{ Pa}$ (pressão da atmosfera ao nível do mar, dada em Pascal). Por fim, converta o valor obtido, em Pa , para atm . Para isto, use a relação $1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa}$;
- 7) Use a equação de Clausius-Clapeyron abaixo para estimar o valor da temperatura de ebulição da água no interior da panela de pressão real. Ao final, converta o valor encontrado para a escala Celsius.

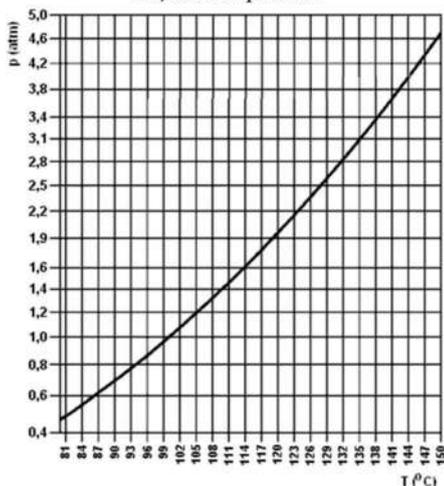
$$\ln\left(\frac{p}{p_0}\right) = -\frac{\Delta h_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)$$

Considere os dados abaixo:

- Δh_{VAP} é a entalpia molar de vaporização da água e vale $40.687,92 \text{ J mol}^{-1}$;
- R é a constante universal dos gases ideais e vale $8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$;
- T_0 é a temperatura absoluta de transição de fase da água ao nível do mar: $373,15 \text{ K}$;
- T é a temperatura absoluta de transição de fase final da água dentro da panela de pressão. É essa que será calculada!;
- p_0 é a pressão máxima de vapor da água em ebulição ao nível do mar e vale $1,00 \text{ atm}$;
- p é a pressão máxima de vapor da água em ebulição dentro da panela de pressão e vale o resultado encontrado no passo 6.

8) A partir dos resultados obtidos nos passos 6 e 7, compare o ponto de ebulição da água estimado para dentro da panela de pressão real com a previsão computacional feita pelo prof. Dr. Fernando Lang da Silveira, do *Centro de Referência para o Ensino de Física (CREF)* da *Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)*, por meio do gráfico representado na Figura 1, e com os resultados obtidos computacionalmente pelo Autor (2024) apresentados na tabela representada na Figura 2. Faça a mesma comparação, só que agora com os resultados obtidos pelos instrumentos de medidas (termômetro e manômetro) na tampa da panela de pressão após a realização da experiência.

Figura 1 - Pressão de vapor saturado da água em função da temperatura.



Fonte: Adaptado de Silveira (2020, online).

Figura 2 - Temperatura de ebulição da água em função da pressão de vapor e da altitude.

Altitude (km)	Pressão (atm.)	Temperatura (°C)	Altitude (km)	Pressão (atm.)	Temperatura (°C)
40,87	0,0082	0	1,51	0,8369	95
38,15	0,0113	5	0,00	1,0000	100
35,46	0,0155	10	***	1,1891	105
32,91	0,0209	15	***	1,4077	110
30,45	0,0279	20	***	1,6592	115
28,06	0,0370	25	***	1,9475	120
25,75	0,0485	30	***	2,2767	125
23,53	0,0630	35	***	2,6512	130
21,37	0,0812	40	***	3,0759	135
19,28	0,1038	45	***	3,5558	140
17,25	0,1317	50	***	4,0963	145
15,29	0,1658	55	***	4,7032	150
13,40	0,2073	60	***	5,3827	155
11,54	0,2576	65	***	6,1411	160
9,75	0,3180	70	***	6,9854	165
8,01	0,3902	75	***	7,9226	170
6,31	0,4761	80	***	8,9605	175
4,67	0,5776	85	***	10,1068	180
3,07	0,6971	90	***	11,3698	185

Fonte: Produzido pelo Autor (2024).

Para realização das questões propostas nesse roteiro, é necessário a posse de uma balança de precisão, para aferir a massa da válvula reguladora de pressão da panela de pressão, e de um paquímetro (manual ou digital), para medição do diâmetro interno de saída de vapor do pino central da tampa da panela de pressão, conforme Figura 3 a seguir. Caso não possua um paquímetro, pode-se utilizar uma régua milimetrada. No entanto, a leitura contém uma margem de erro maior. Portanto, é essencial ter muita cautela e atenção durante essas medições.

Figura 3 – Elementos da bancada experimental completa para a realização das práticas experimentais.



Fonte: Tirada pelo Autor (2024).

Vale ressaltar que, o uso da equação de Clausius-Clapeyron não é o foco da aprendizagem, até porque não é um conteúdo de Ensino Médio. No entanto, seu uso, ao menos operacional, é essencial e indispensável para a estimativa da temperatura de ebulição da água no interior da panela de pressão, conhecida a pressão interna da panela, uma vez que lá coexistem duas fases (líquido e gasoso) e, portanto, o uso da equação de Clapeyron, que é vista no Ensino Médio, só serve para um estado único bem definido e não se aplica ao contexto

experimental proposto. Logo, esses cálculos matemáticos servem para ajudar a trabalhar com os educandos dificuldades e potencialidades dos mesmos com relação às abordagens matemáticas dentro da Física. Além disso, a questão 8 desse roteiro proporciona trabalhar com gráficos e tabelas, que são habilidades essenciais da BNCC e cobradas em exames de acesso ao Ensino Superior, como o ENEM.

Após os educandos concluírem em grupo a atividade proposta no roteiro de atividades com auxílio do professor, uma resolução geral coletiva deve ser feita de forma expositiva para toda a classe, utilizando o quadro branco e canetões como recursos didáticos. Durante essa resolução, o professor pode utilizar informações obtidas durante as medições feitas por ele previamente, tanto da massa da válvula, quanto do diâmetro interno do pino de saída de vapor da tampa da panela de pressão. Com isso, o professor pode obter uma estimativa dele para pressão e temperatura da água no interior da panela de pressão e comparar com os resultados obtidos pelos educandos em seus respectivos grupos, promovendo discussões acerca dos erros contidos nos processos de medições, tanto por parte dos instrumentos quanto dos operadores dos mesmos.

9º Dia: 13ª Aula

Objetivo: Realizar simulações computacionais para compreensão visual dos fenômenos físicos envolvidos no funcionamento da panela de pressão, inclusive à explosão.

Esta aula consiste em, por meio do uso do Laboratório de Informática da escola, e com computadores com acesso à internet, simular algumas situações com a panela de pressão para o estudo de conceitos como calor, temperatura, pressão, estados físicos da matéria, transições de fases, influência da pressão no tempo de cozimento dos alimentos e, o que causa a explosão da panela de pressão. Para isso, os grupos deverão se reunir por computador para realizarem coletivamente as atividades propostas no roteiro de atividades.

Essa simulação será feita pelo software livre *PhET Interactive Simulations*¹⁷ e consiste em identificar as variáveis físicas envolvidas e a relação entre elas durante o funcionamento da panela de pressão. É importante ressaltar que o professor deverá levar esse roteiro impresso para cada um dos grupos participantes. Abaixo tem-se o roteiro de atividades proposto:

¹⁷ Universidade do Colorado, Boulder, Estados Unidos da América.

Roteiro de Atividade com Simulação Computacional

PASSO 1: Acesse o site: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/states-of-matter>. Agora, abra o experimento virtual “**States of Matter**” e dentro dele abra a versão “**Phase Changes**”.

PASSO 2: Agora, no canto superior direito, selecione os átomos e moléculas de **ÁGUA** e altere a escala de temperatura do termômetro (localizado na tampa da panela) de K para °C.

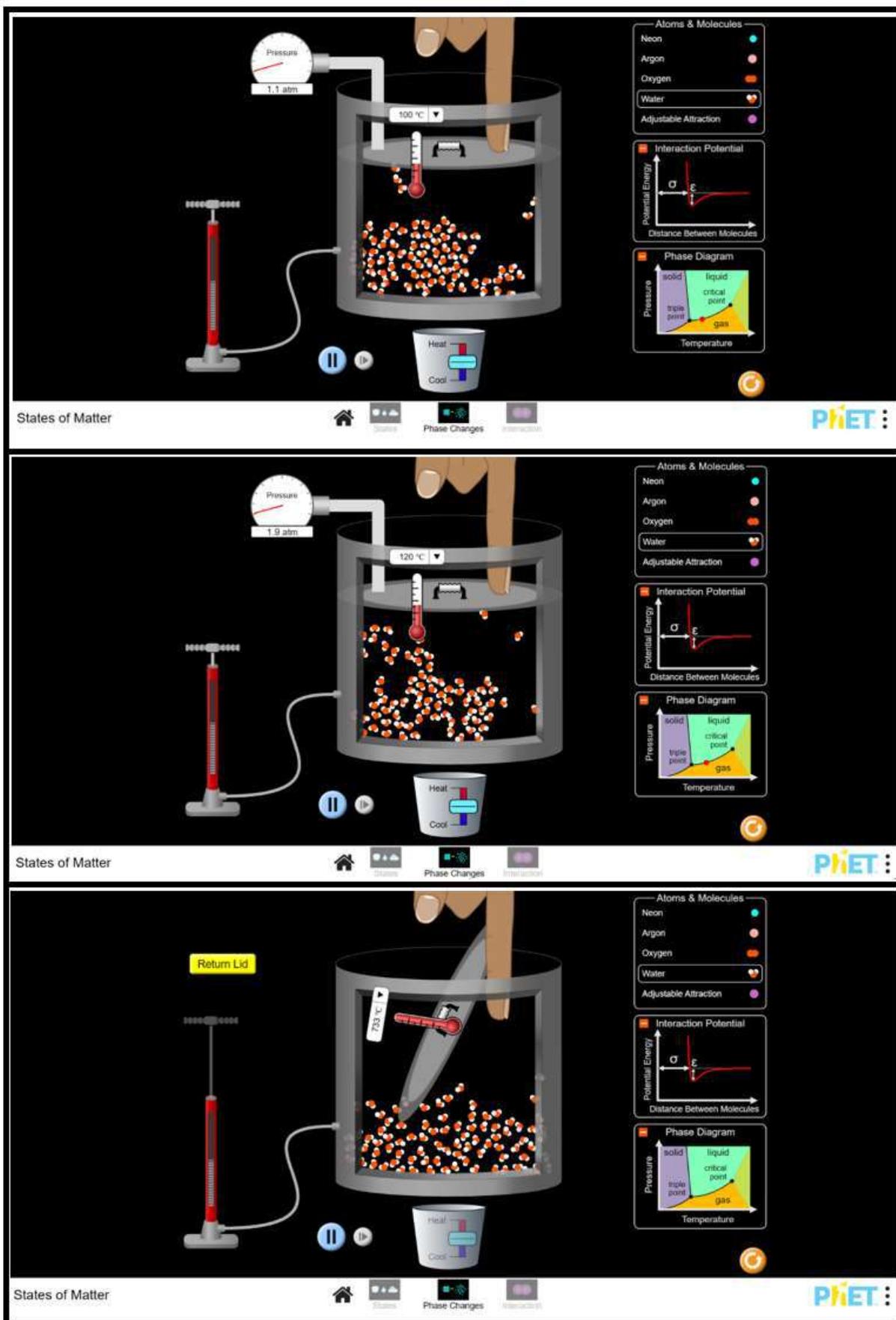
PASSO 3: Manipule o experimento várias vezes e observe atentamente o que acontece para responder as seguintes questões abaixo:

- 1) Identifique quais são as quatro grandezas físicas envolvidas nessa simulação e que possuem relação com o cozimento dos alimentos na panela de pressão real. Conceitue cada uma delas.
- 2) Descreva como o aumento da pressão pode afetar a temperatura e o estado físico de agregação molecular da água. Aumente essa pressão até exceder o limite máximo (aquecendo ou reduzindo o volume) e veja o que ocorre.
- 3) Acesse o site https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter/latest/states-of-matter_all.html, abra “**States**”, selecione a água (“**Water**”), altere a temperatura de K para °C. Clique em cada um dos três estados físicos (“**Solid**”, “**Liquid**”, e “**Gas**”) e descreva um modelo molecular para a água nesses três estados.
- 4) Agora descreva como o aquecimento (“**Heat**”) e o resfriamento (“**Cool**”) alteram o comportamento das moléculas de água.

Essa experiência virtual é fundamental para enriquecer o processo de ensino e aprendizagem dos educandos, sobretudo quanto à visualização de alguns processos de forma didática e simplificada. Além disso, pode-se simular a explosão da panela de pressão e observar quais fatores contribuíram para tal ocorrido, vindo a discutir com os mesmos durante o decurso dessa atividade.

É importante o professor nortear os educandos para que percebam as grandezas físicas que se relacionam no experimento e façam uma analogia com o funcionamento real de uma panela de pressão durante o cozimento dos alimentos. A Figura 4 abaixo ilustra uma parte do que pode ser feita segundo o roteiro proposto (questão 3).

Figura 4 – Simulação computacional sobre o funcionamento da panela de pressão e sua eventual explosão.



Fonte: University of Colorado Boulder (© 2002 - 2023, online).

10º Dia: 14ª, 15ª e 16ª Aulas

Objetivo: Promover a aprendizagem por meio da prática experimental dialógica.

Para este dia, sugere-se ao professor dividir as aulas em dois momentos: um para a realização da aula prática experimental com a panela de pressão real adaptada para aferir temperatura e pressão e seu interior, e o outro para uma aula teórica a respeito do movimento rotacional da válvula reguladora de pressão durante o funcionamento da panela de pressão real.

Para o primeiro deles, o professor poderá levar os educandos a um laboratório de Física ou Ciências, caso tenha na escola, ou mesmo alguma área externa dentro dos limites da escola, como quadras, campos abertos etc. No entanto, se a escola não disponibilizar de tais espaços, o mesmo pode realizar a prática experimental da própria sala de aula (exceto bibliotecas, por conter muitos materiais inflamáveis próximos, como papel). Esse é um momento crucial para o professor explicar na prática todos (ou boa parte) dos conceitos e fenômenos físicos presentes desde o momento em que a chama do fogão é ligada sob a panela com água em seu interior, até o momento em que a válvula reguladora da mesma começa a funcionar, liberando o excesso de vapor. Além disso, é importante comentar sempre que possível sobre as medidas preventivas necessárias a um manuseio responsável e seguro da panela de pressão que as pessoas devem adotar antes, durante e após o preparo dos alimentos.

Abaixo segue uma imagem (Figura 5) contendo a foto da bancada experimental pronta para dar início às atividades práticas-experimentais da SD. Essa atividade é crucial para os educandos verem na prática que o aumento da pressão gerado pelo peso da válvula reguladora de pressão faz com que a temperatura de ebulição da água em seu interior aumente. Com isso, os educandos evidenciam que a água começa a “ferver” a uma temperatura acima dos 100 °C (nível do mar), permitindo que mais energia térmica na forma de calor seja transferida para os alimentos imersos nela, proporcionando uma maior celeridade no cozimento dos mesmos. Além disso, o professor pode comentar a respeito da tensão superficial da água, que é rompida quando os vapores atingem energia cinética suficiente para vencer as ligações eletromagnéticas que ocorrem com as moléculas de água na superfície da mesma, escapando na forma gasosa (ebulição).

Figura 5 – Bancada experimental montada momentos antes de iniciar as atividades.



Fonte: Tirada pelo Autor (2024).

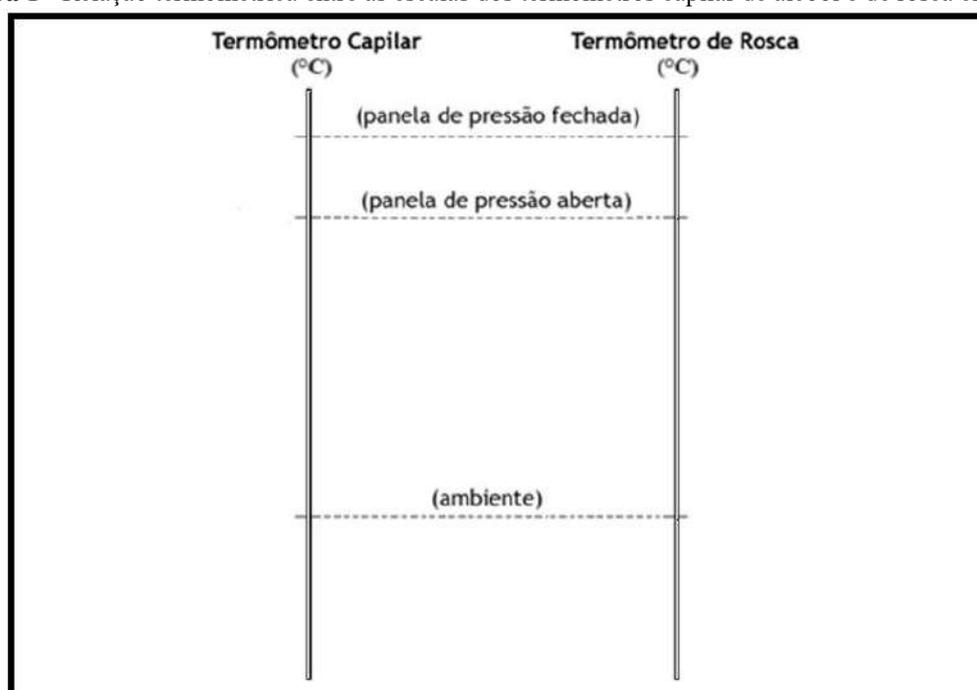
Como pode-se notar na figura acima, é necessário que o professor tenha um fogão portátil (desses de pesca ou acampamento) de fácil transporte para levar ao local escolhido para realização da aula prática experimental. Além disso, faz-se necessário ter um fornecimento de gás de cozinha, que, neste caso, é um refil que é instalado dentro do compartimento de abastecimento desse fogão. Um termômetro capilar (de álcool ou mercúrio) próprio para laboratórios e experiências, é necessário para a realização completa das atividades propostas no roteiro dessa aula. Abaixo tem-se o roteiro da aula e da atividade prática experimental.

Atividade de Estimativa da Temperatura de Ebulição da Água na Panela de Pressão a Partir da Relação Termométrica entre as Escalas dos Termômetros Capilar e de Rosca

- 1) Deixe os termômetros de rosca (na tampa da panela) e o capilar de vidro em contato com a água (antes de ligar o fogo) durante uns 02 a 03 minutos, para que os mesmos entrem em equilíbrio térmico com a mesma no interior da panela. Em seguida, anote os valores indicados por cada um dos termômetros para a temperatura ambiente da água.
- 2) Retire os termômetros da água e acenda o fogo. Espere a água ferver com a panela aberta (sem tampa). Agora use o termômetro capilar de vidro (álcool) para aferir a temperatura de ebulição da água na panela de pressão. Registre o valor indicado.

- 3) Retire o termômetro capilar e coloque a tampa na panela, bem encaixada e tensionada, porém sem a válvula reguladora de pressão, e espere até que a temperatura de ebulição da água seja indicada pelo termômetro de rosca (ferro). Registre o seu valor.
- 4) Coloque de volta a válvula reguladora de pressão na tampa da panela e espere até que ela comece a chiar enquanto solta o excesso de vapor. Registre o valor de temperatura indicado pelo termômetro de rosca.
- 5) Agora, no diagrama da Figura 1 abaixo, represente os valores encontrados para cada situação acima e obtenha uma relação termométrica entre as escalas dos dois termômetros. Em seguida, estime o valor da temperatura de ebulição da água quando a panela de pressão está fechada e a válvula reguladora aberta que seria registrado pelo termômetro capilar de álcool. Anote este valor também no esquema abaixo.

Figura 1 - Relação termométrica entre as escalas dos termômetros capilar de álcool e de rosca em ferro.



Fonte: Produzido pelo Autor (2024) no Paint do Windows.

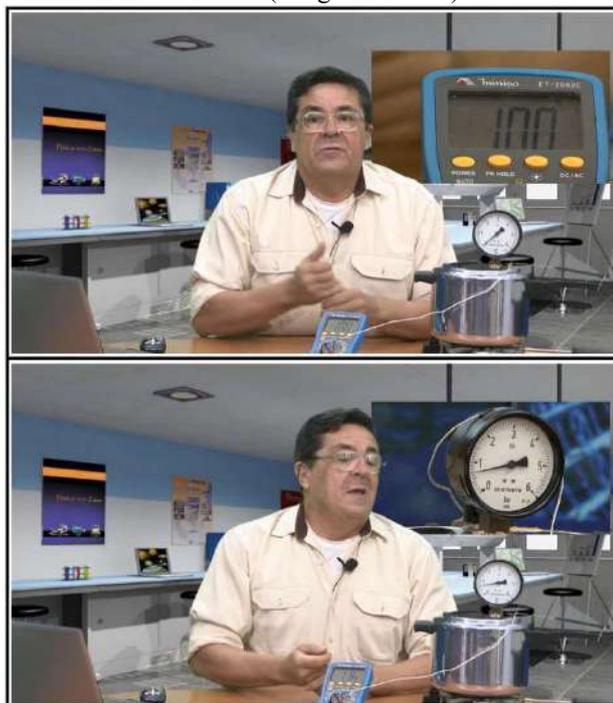
Já o segundo momento deste dia pode ser direcionado a uma aula expositiva sobre a explosão da panela de pressão e o movimento rotacional da válvula reguladora da mesma e sua relação com o torque gerado sobre ela devido às saídas dos vapores, por meio de análises feitas através das lentes teóricas do Princípio da Conservação do Momento Linear (explosão da panela de pressão, com a tampa da panela e o corpo da panela seguindo na direção vertical e em sentidos opostos) e do Princípio da Conservação do Momento Angular (rotação da válvula aproximadamente constante).

11º Dia: 17ª Aula

Objetivo: Compreender que o conhecimento científico não é perfeitamente exato e acabado, mas sim uma construção humana passível de erros e revisões.

Para essa aula, o professor poderá utilizar o vídeo *Como Funciona: A Painela de Pressão*. É um vídeo muito interessante que consiste basicamente numa experiência com a painela de pressão real que faz aferição de pressão e temperatura em tempo real (Figura 6). Este aparato experimental é apresentado pelo professor Dr. Luíz Antônio de Oliveira Nunes, do Instituto de Física da USP de São Carlos, e encontra-se disponibilizado na playlist de seu canal no Oficiência na plataforma YouTube. O link de acesso é: <https://www.youtube.com/watch?v=MQUzdOh8JHc>. Este vídeo possui duração de 17 minutos e 11 segundos e descreve exatamente a experiência proposta na Figura 5. Tal vídeo será fundamental para que os educandos possam perceber a relação em tempo real que existe entre pressão e temperatura de ebulição da água e como isso afeta o tempo de cozimento dos alimentos. O mesmo servirá de comparativo para que os educandos possam identificar similaridades e diferenças entre as duas experiências: a realizada na escola e a realizada pelo professor Nunes (2017).

Figura 6 – Momentos de fervuras da água a pressão ambiente (imagem superior) e a pressão superior à pressão ambiente (imagem inferior).



Fonte: Capturas de tela de trechos do vídeo de Nunes (2017).

Abaixo tem o roteiro que pode ser utilizado para realização da atividade logo após os educandos assistirem ao vídeo proposto.

Atividade sobre as Experiências com a Panela de Pressão

Com base no vídeo “*Como Funciona: A Panela de Pressão*” do prof. Dr. Luíz Antônio de Oliveira Nunes, do IFUSP de São Carlos, e com a experiência feita no Laboratório de Ciências na aula anterior, utilizando a panela de pressão adaptada, respondam coletivamente as seguintes questões abaixo.

- 1) Qual foi o objetivo (finalidade) de cada uma das experiências realizadas? Esses objetivos foram comuns?
- 2) O que foi feito em cada uma das experiências realizadas para que as mesmas consolidassem seus objetivos?
- 3) No vídeo fica evidente que a temperatura de ebulição da água ficou entre 115 °C e 116 °C, devido a uma pressão interna de aproximadamente 1,68 bar (manômetro), quando a panela de pressão estava hermeticamente fechada e com válvula reguladora devidamente instalada e em pleno funcionamento. No entanto, a mesma situação na experiência feita no Laboratório de Ciências na aula anterior registrou um valor de temperatura de ebulição da água que ficou entre 100 °C e 102 °C, para o mesmo valor de pressão interna de 1,68 bar. Por que os valores de temperaturas registrados pelos termômetros nas duas experiências deram DIFERENTES para a água, sendo que Caravelas está aproximadamente no nível do mar e o valor de temperatura de ebulição da água deveria ser bem próximo de 120 °C e o de pressão interna deveria ser bem próximo de 2,00 bar, ao invés de 1,68 bar? Esta situação afetou o alcance do objetivo durante a experiência realizada no Laboratório de Ciências?

Os elementos da questão 3 destacados em vermelho podem ser substituídos pelo professor aplicador segundo a localidade onde é realizada a experiência, bem como os dados referentes às medições de temperatura e pressão obtidas nessa localidade.

3º Momento Pedagógico: Aplicação do Conhecimento

12º Dia: 18ª Aula

Objetivo: Refletir de forma abrangente e crítica a respeito das novas percepções de mundo com base nos conhecimentos físicos recém construídos.

A atividade proposta para este dia consiste em o professor exibir um vídeo de propaganda muito recorrente nas redes sociais, como YouTube e Instagram, que trata de um anúncio de uma suposta “panela de pressão de pedra” que pode ser aberta a qualquer momento durante o cozimento dos alimentos sem que haja riscos de explosão.

O vídeo intitulado “Panela de Pressão de Pedra sabão funciona?” a ser utilizado pode ser acessado por meio do link <https://www.youtube.com/watch?v=dc5COLv3pNg&t=7s>. Esse vídeo tem duração de 02 minutos e 11 segundos e encontra-se disponível um canal do YouTube. Nele, uma pessoa do sexo feminino apresenta uma suposta panela de pressão feita de pedra sabão, “evidenciando” alguns “benefícios” da utilização da mesma durante o preparo dos alimentos, como, por exemplo, a informação de que a panela de pressão de pedra não contém borracha de vedação e pode ser aberta a qualquer momento sem esforço durante o cozimento dos alimentos, sem que haja risco de explosão da mesma. Ela também argumenta que a “válvula” reguladora de pressão não precisa ser higienizada, pois a mesma não explode igual uma panela de pressão convencional verdadeira.

O objetivo de tal atividade é de que os educandos, ao assistirem o vídeo proposto, possam identificar alguma falha no marketing dessa panela a partir dos conhecimentos físicos construídos ao longo das aulas anteriores, nos dois primeiros momentos pedagógicos. A partir daí, uma discussão crítica e reflexiva deve ser iniciada em sala de aula com os mesmos com o intuito primário de aguçar seus sentidos críticos para que utilizem as competências e habilidades desenvolvidas de modo a tentar verificar a credibilidade da propaganda com base no que é falado nela.

Abaixo tem-se um roteiro com questões que podem ser lançadas aos educandos para que os mesmos reflitam sobre a situação expostas e, colaborativamente, discutam entre si e com o professor sobre o teor da propaganda, com base em argumentos físicos e matemáticos. As quatro primeiras questões podem ser discutidas a partir de um diálogo que pode ser gravado com o celular ou mesmo anotações em diário de bordo de pontos relevantes das falas dos educandos. Já a última questão deve ser abordada ativamente pelos educandos por meio de uma resolução matemática escrita conjunta.

Atividade de Análise da Propaganda Sobre a “Panela de Pressão de Pedra”

- 1) Após assistir ao vídeo sobre o marketing da “panela de pressão de pedra”, qual sua análise sobre?
- 2) Havendo condições e interesse pessoal, você compraria essa “panela de pressão de pedra” da propagando do vídeo (ver Figura 1)? Justifique sua resposta!
- 3) O que você acha desse tipo de propaganda? Você acha que a Ciência pode evitar Fake News?
- 4) Como você explicaria cientificamente para uma pessoa leiga que acreditasse realmente nessa propaganda e quisesse muito comprar essa “panela de pressão de pedra” achando que realmente é uma panela de pressão, que essa propaganda é enganosa pois e que a panela não passa de uma panela de pedra comum?
- 5) De acordo com um comerciante desse tipo de panela no Mercado Livre, o diâmetro interno da tampa da mesma é de aproximadamente 22 cm, conforme Figura 1. Utilize argumentos matemáticos para comprovar cientificamente a fraude que é esse tipo de propaganda. Para isto, calcule a massa, em kg, que a tampa dessa panela deve ter para que a pressão interna seja de 2,00 atm, o que resultaria numa temperatura de cozimento de 120 °C igual as panelas de pressão verdadeiras. Use: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $\pi = 3,14$ e $p_{atm} = 1,00 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa}$. Diga se há algum sentido lógico o resultado obtido. Utilize a equação:

$$p_{int} = p_{atm} + \frac{m g}{\pi r^2}$$

Figura 1 – “Panela de pressão” feita de pedra sabão, com venda anunciada no Mercado Livre.

The screenshot shows a product listing on Mercado Livre. The product is titled "Panela Pressão Pedra Sabão" with a capacity of 4000 ml and a weight of 8 kg. The dimensions are listed as a height of 13 cm and an inner diameter of 22 cm. The price is R\$ 332,00, which is a 10% discount from the original price of R\$ 369,00. The payment plan is 10x R\$ 33,00 without interest. The product is available for purchase, and there is a "Comprar" button.

Fonte: Mercado Livre (© 1999 - 2023, online).

Por meio da realização desta atividade os educandos podem perceber que esses comerciais nas redes sociais convencem muitas pessoas sem os conhecimentos científicos

básicos para o discernimento da veracidade da informação transmitida, que que, por serem leigas quanto aos conceitos e fenômenos físicos acabam caindo em golpes, pagando caro (cerca de R\$ 350,00) por uma unidade de tamanho mediano. O conhecimento salva, liberta e permite-nos tomarmos melhores decisões na vida! E os educandos podem perceber isso durante a aplicação de seus conhecimentos físicos recém construídos.

13º Dia: 19ª e 20ª Aulas

Objetivo: Promover um momento de reflexão crítica de leitura e escrita de mundo por meio da interdisciplinaridade com a área do conhecimento de Linguagens, Códigos e suas Tecnologias, com base nos resultados obtidos na aula anterior.

Durante essas duas aulas, o professor pode proporcionar um momento interdisciplinar aos educandos com a Arte, Literatura ou Língua Portuguesa, por meio da realização de uma atividade muito interessante, proposta pelo professor em sala de aula, que pode ser finalizada na mesma ou em casa, trazendo em um prazo estipulado pelo professor, em caso dessas duas aulas não der tempo para finalização em sala. Essa atividade deu muito certo na aplicação da SD proposta pelo Autor (2024), obtendo-se alguns resultados muito interessantes.

Tal atividade consiste em cada um dos grupos de estudos colaborativos **criar uma arte gráfica sátira**, com desenhos e textos, que pode ser uma **charge** (desenho único com textos), um **meme** ou uma **tirinha** (pequeno trecho de uma história em quadrinhos, entre 3 e 4 quadrinhos), a respeito da conclusão que os mesmos tiveram sobre a propaganda da panela de “pressão” de pedra.

Nesse momento, cabe ao professor dialogar com os mesmos, explicando o objetivo da atividade, e dando-lhes liberdade criativa e poética para a execução da mesma, além de poder criar a arte gráfica de forma real, feita à mão em papel, ou digital por meio de programas computacionais, com desenhos simplistas ou mais sofisticados, para aqueles que possuem mais habilidades com desenhos feitos à mão. Essa foi uma das atividades que, de modo geral, eles mais gostaram de realizar durante a aplicação da SD pelo Autor (2024).

14º Dia: 21ª Aula

Objetivo: Identificar os conhecimentos físicos aprendidos e não aprendidos pelos educandos por meio do contexto do uso da panela de pressão no cozimento dos alimentos.

Para essa aula, os educandos, divididos em seus respectivos grupos, devem realizar uma atividade teórica que engloba os principais conceitos e fenômenos físicos trabalhados ao longo de toda a SD. Trata-se de uma atividade muito conceitual cujo objetivo é obter resultados que apontem falhas e êxitos na aprendizagem dos educandos com relação à Física estudada durante os momentos anteriores. Abaixo tem-se a atividade com as questões propostas e que deve ser impressas para que cada grupo a realize coletivamente.

Atividade Geral

- 1) O que ocorre com a água, em termos de temperatura, vaporização e quantidade dentro da panela, após a mesma começar a “ferver”, se aumentarmos a intensidade da chama do fogão? Comente também como isso pode contribuir no final do mês para a economia de dinheiro.
- 2) Por que a panela de pressão leva um certo tempo para “pegar pressão”? E como essa pressão afeta o tempo de cozimento dos alimentos?
- 3) Quais são as principais grandezas físicas “responsáveis” pelo cozimento dos alimentos? Descreva algumas das reações químicas que ocorrem durante esse processo.
- 4) Considerando o cozimento dos alimentos na panela de pressão, descreva em palavras escritas ou por meio de desenhos esquemáticos, quem é considerado o sistema (e de que tipo), quem é o universo, quem é o meio externo, quem é a fronteira, quem é a fonte de calor e quem é a vizinhança.
- 5) É muito comum, durante o funcionamento da panela de pressão no preparo dos alimentos, a válvula reguladora de pressão girar enquanto escapa vapor por ela. Além disto, nota-se também o seu chiado característico sempre presente após a panela “pegar pressão”. Comente sobre isso de acordo com os conceitos e fenômenos físicos estudados.

15º Dia: 22ª Aula

Objetivo: Identificar os conhecimentos físicos aprendidos e não aprendidos pelos educandos por meio do contexto do uso da panela de pressão no cozimento dos alimentos.

Para esta aula, o professor deve propor aos educandos realizarem uma atividade teórica associada à leitura e escrita de mundo com base no fenômeno físico eventual da explosão da panela de pressão, além de conceitos e fenômenos físicos voltados para a compreensão do cozimento dos alimentos dentro da panela de pressão, como transferências e transformações de

energias envolvidas, as transições de fases presentes e a relação entre a pressão interna e a temperatura de ebulição da água com o tempo de cozimento dos alimentos. Abaixo segue as duas atividades propostas.

Atividade Sobre a Explosão da Panela de Pressão

1) Analise as imagens na tirinha abaixo e escreva sua interpretação física e preventiva associada à situação exposta. Evidencie conceitos e fenômenos físicos, bem como as leis que os regem.

Figura 1 – Quadrinho associando a panela de pressão com uma plataforma de lançamento de foguetes.

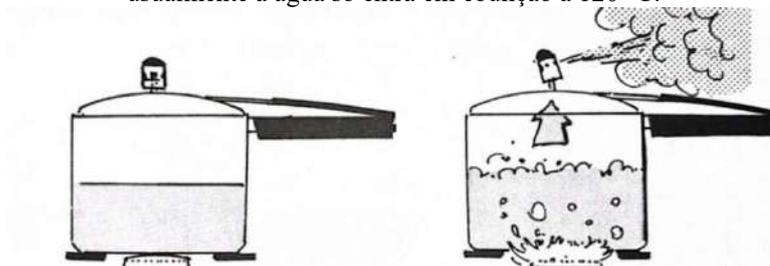


Fonte: Montini (2022, p. 14).

Atividade Sobre a Física Envolvida no Cozimento dos Alimentos na Panela de Pressão

1) Analise a imagem abaixo e descreva fisicamente, de acordo com seu entendimento, os processos de transferência e transformação de energia presentes na situação ilustrada, as transições de fases ocorridas e a relação entre a pressão interna e a temperatura de ebulição da água com o tempo de cozimento dos alimentos.

Figura 1 – Panela de pressão antes (à esquerda) e depois (à direita) de “pegar” pressão. Na panela de pressão, usualmente a água só entra em ebulição a 120 °C.



Fonte: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (2015, P. 47).

Essas atividades devem ser impressas pelo professor e disponibilizadas aos grupos participantes para que os educandos, colaborativamente, reflitam e discutam a respeito da Física envolvida em ambas as situações. As respostas podem ser obtidas por meio de diálogo com o professor, com os áudios gravados, anotadas em diários de bordo ou mesmo escrita na folha de respostas.

16º Dia: 23ª Aula

Objetivo: Verificar a evolução das aprendizagens dos educandos com relação aos conceitos e fenômenos físicos envolvidos no cozimento dos alimentos com a panela de pressão por meio de uma avaliação teórica preparatória para os exames vestibulares.

Nessa aula o professor deve esclarecer aos educandos que os mesmos façam uma avaliação individual (avaliação somativa) com questões objetivas de vestibulares e ENEM que abordam os fenômenos físicos associados ao uso da panela de pressão durante o preparo dos alimentos. Além disso, caso seja política da escola em que o professor atua e aplica a SD proposta, preparar os educandos para os exames de acesso ao Ensino Superior, essa atividade é crucial para que o professor possa ter uma noção da evolução da aprendizagem dos educandos frente aos exames tradicionais teóricos. Abaixo segue o modelo de teste que deve ser impresso pelo professor e disponibilizado aos educandos no dia da avaliação. A Tabela 1 logo a seguir contém o gabarito das questões propostas para posterior conferência das respostas dos educandos.

Atividade Individual com Questões de Vestibular: cada questão vale 1,25 ponto

1) (FUVEST - SP 2014 1ª Fase) Para impedir que a pressão interna de uma panela de pressão ultrapasse um certo valor, em sua tampa há um dispositivo formado por um pino acoplado a um tubo cilíndrico, como esquematizado na figura ao lado. Enquanto a força resultante sobre o pino for dirigida para baixo, a panela está perfeitamente vedada. Considere o diâmetro interno do tubo cilíndrico igual a 4 mm e a massa do pino igual a 48 g. Na situação em que apenas a força gravitacional, a pressão atmosférica e a exercida pelos gases na panela atuam no pino, a pressão absoluta máxima no interior da panela é



Note e adote:
 $\pi = 3$
 $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$
 Aceleração local da gravidade = 10 m/s^2

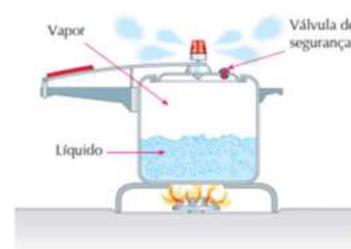
- a) 1,1 atm.
- b) 1,2 atm.

- c) 1,4 atm.
- d) 1,8 atm.
- e) 2,2 atm.

2) (ENEM 2020) As panelas de pressão reduzem o tempo de cozimento dos alimentos por elevar a temperatura de ebulição da água. Os usuários conhecedores do utensílio normalmente abaixam a intensidade do fogo em panelas de pressão após estas iniciarem a saída de vapores. Ao abaixar o fogo, reduz-se a chama pois assim evita-se o

- a) Aumento da pressão interna e os riscos de explosão.
- b) Dilatação da panela e desconexão com sua tampa.
- c) Perda da qualidade nutritiva do alimento.
- d) Deformação da borracha de vedação.
- e) Consumo de gás desnecessário.

3) (ENEM 1999) A panela de pressão permite que os alimentos sejam cozidos em água muito mais rapidamente do que em panelas convencionais. Sua tampa possui uma borracha de vedação que não deixa o vapor escapar, a não ser através de um orifício central sobre o qual assenta um peso que controla a pressão. Quando em uso, desenvolve-se uma pressão elevada no seu interior. Para a sua operação segura, é necessário observar a limpeza do orifício central e a existência de uma válvula de segurança, normalmente situada na tampa. O esquema da panela de pressão e um diagrama de fase da água são apresentados abaixo. A vantagem do uso de panela de pressão é a rapidez para o cozimento de alimentos e isto se deve



- a) à pressão no seu interior, que é igual à pressão externa.
- b) à temperatura de seu interior, que está acima da temperatura de ebulição da água no local.
- c) à quantidade de calor adicional que é transferida à panela.
- d) à quantidade de vapor que está sendo liberada pela válvula.
- e) à espessura da sua parede, que é maior que a das panelas comuns.

4) (UEPG - GO) A respeito do funcionamento da panela de pressão, dê o somatório das proposições corretas.

- (01) De acordo com a lei dos gases, as variáveis envolvidas no processo são pressão, volume e temperatura.
- (02) O aumento da pressão no interior da panela afeta o ponto de ebulição da água.
- (04) A quantidade de calor doado ao sistema deve ser constante, para evitar que a panela venha a explodir.
- (08) O tempo de cozimento dos alimentos dentro de uma panela de pressão é menor porque eles ficam submetidos a temperaturas superiores a 100 °C.

Somatório: _____

5) (UNICENTRO 2008) A panela de pressão, inventada em 1861, vem sendo aprimorada graças aos esforços de quem procura entender certos fenômenos científicos para cozinhar.

Considerando-se o funcionamento de uma panela de pressão, analise as proposições, marcando V para as verdadeiras e F, para as falsas.

- () A água no interior de uma panela de pressão evapora a uma temperatura abaixo de 100 °C.
- () O vapor começa a escapar da panela quando a pressão interna se torna maior do que a soma da pressão atmosférica mais a pressão exercida pelo pino da tampa.
- () A temperatura de ebulição da água, no interior de uma panela, a pressão de 2,0 atm, aumenta quando é fornecida uma quantidade maior de calor para a panela.

A alternativa que indica a sequência correta, de cima para baixo, é a

- a) F F V
- b) F V V
- c) V F F
- d) V V F
- e) F V F

6) (IFBA 2012) A panela de pressão é um instrumento muito importante para a redução do tempo de cozimento dos alimentos, principalmente em locais como La Paz. Estas panelas funcionam da seguinte forma:

- a) Aumentam a pressão do vapor na superfície do líquido, aumentando a temperatura de ebulição.
- b) Aumentam a pressão do vapor na superfície do líquido, reduzindo a temperatura de ebulição do líquido.
- d) Diminuem a pressão do vapor na superfície do líquido, aumentando a temperatura de ebulição.
- d) Diminuem a pressão do vapor na superfície do líquido, reduzindo a temperatura de ebulição do líquido.
- e) Facilitam o escapamento do vapor que está no interior da panela, facilitando o cozimento.

7) (OBF 2018) Uma panela de pressão, daquelas que sua mãe usa para cozinhar mais rapidamente o feijão nosso de cada dia, apresenta essa enorme vantagem sobre uma panela comum aberta, devido ao fato

- a) do ponto de ebulição da água que envolve o feijão, na panela de pressão, ser superior a 100°C;
- b) das paredes da panela de pressão ser espessa, conservando, por muito tempo, o calor em seu interior;
- c) da temperatura de ebulição dos líquidos no interior da panela de pressão ser reduzida;
- d) do aumento da temperatura reduzir a pressão no interior da panela de pressão, facilitando a expansão dos alimentos;
- e) da pressão comprimir os alimentos, facilitando o cozimento.

8) As panelas de pressão são muito utilizadas na cozinha, pois diminuem o tempo de cozimento dos alimentos. Marque V quando verdadeiro e F quando falso nas seguintes observações sobre o sistema:

- () A temperatura de ebulição da água é menor que 100 °C, por isso atinge mais rápido o cozimento.

- () A pressão de vapor da água com sal e demais temperos é menor que a pressão de vapor da água pura, por isso sua temperatura de ebulição aumenta.
- () O alimento só irá cozinhar quando a água atingir o ponto de ebulição.
- () A válvula de pressão é a responsável por controlar a pressão no interior da panela.
- () Em qualquer altitude, a água pura no interior da panela terá a mesma temperatura de ebulição.
- () A panela explode por conta do entupimento da válvula reguladora e do não funcionamento da válvula de segurança. Isso faz sua pressão aumentar de forma exponencial até que a energia interna seja suficiente para romper a tampa da panela.
- () Durante a explosão da panela de pressão, a quantidade de movimento linear total do sistema (tampa + corpo da panela) é conservada, fazendo com que essas partes sejam aceleradas em direções opostas ao longo do eixo vertical. Isso também é explicado pelas Leis de Newton.
- () Só é possível ouvirmos o som característico (chiado) da panela de pressão graças à dissipação da energia dos vapores expelidos pela válvula de controle com o ar atmosférico ao redor.

A sequência correta para as observações acima é:

- a) F, V, F, V, F, V, V, V
- b) F, V, F, F, F, V, F, V
- c) V, V, F, V, V, F, V, V
- d) V, F, V, F, F, V, F, V
- e) F, F, F, V, V, V, F, V

Tabela 1 – Gabarito da avaliação individual com questões de vestibulares, ENEM e OBF.

Questão:	1	2	3	4	5	6	7	8
Resposta:	C	E	B	11	E	A	A	A

Fonte: Produzido pelo Autor (2024).

17º Dia: 24ª Aula

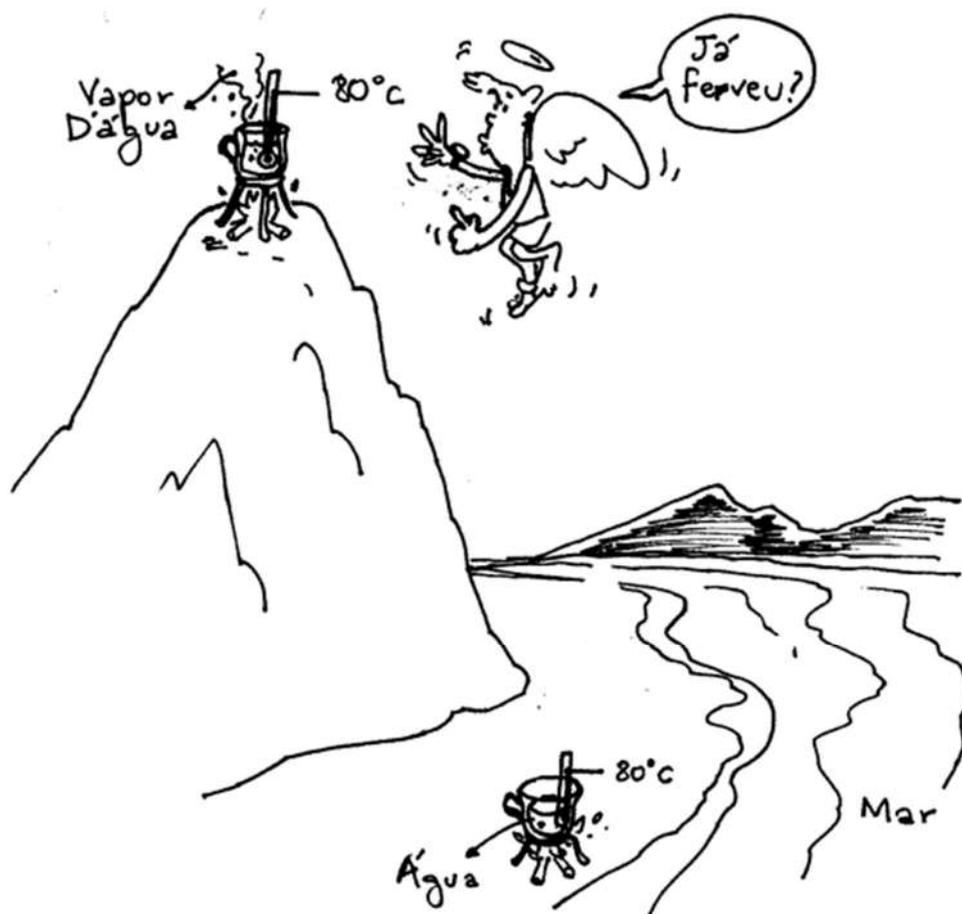
Objetivo: Avaliar a argumentação discursiva e coletiva dos educandos sobre os conhecimentos físicos aprendidos ao longo da SD.

Para essa aula, o professor deve propor aos educandos realizarem uma avaliação final em grupos. Essa avaliação consiste em fornecer uma imagem para que os mesmos, coletivamente, possam fazer a leitura minuciosa da mesma e interpretá-la, escrevendo com palavras próprias o entendimento de tal imagem, baseado em conceitos e fenômenos físicos construídos ao longo da SD. Trata-se de uma atividade avaliativa discursiva extremamente interessante para se utilizar com os educandos, pois vai além da mera resolução de exercícios teóricos matemáticos. Além disso, essa avaliação tem caráter qualitativo e somativo. Ou seja, deve valer nota. Abaixo tem-se a atividade avaliativa que deve ser impressa pelo professor e entregue aos grupos participantes.

Atividade com Questão Discursiva: valor 10,0 pontos

1) Faça uma leitura da imagem da Figura 1 abaixo e disserte criticamente, de forma científica, sobre as informações que podem ser obtidas pela ilustração.

Figura 1 – Mudanças sob pressão.



Fonte: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (2006, p. 61).

RESPOSTA ESPERADA: “Na figura apresentada podemos observar duas situações distintas em uma mesma imagem. A paisagem consiste basicamente do topo de uma montanha alta e a beira da praia. Em cada uma dessas localizações, encontra-se um caldeirão com água que está sobre o fogo, com cada um deles tendo um termômetro que registra as respectivas temperaturas em cada uma das situações, que no caso ilustrado, correspondem a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. No entanto, na situação do topo da montanha, percebe-se que há vapor escapando, indicando que a água ali estava fervendo, causando espanto do homem alado que achou que a água só iria ferver a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Em contrapartida, na situação à beira mar, a água ainda não se encontra fervendo, indicando que a mesma ainda não iniciou o processo de mudança da fase líquida para a gasosa (ebulição). Isso

é devido à pressão atmosférica em cada uma dessas localidades. Em locais mais elevados, em relação ao nível do mar, existe uma menor quantidade de ar, exercendo menos peso sobre a superfície da água no caldeirão e, conseqüentemente, gerando uma menor pressão atmosférica sobre ela. Isso faz com que as moléculas de água necessitem de menos energia térmica, fornecida pela chama da fogueira, para conseguirem vencer a tensão superficial da água e escaparem na forma de vapor, ao contrário da situação à beira mar, em que está alinhada com o nível do mar e, a este nível, existe mais ar acima exercendo mais peso sobre a superfície da água do caldeirão de baixo, que conseqüentemente gera uma maior pressão atmosférica sobre ela e que influencia o ponto de ebulição da água, fazendo-a ferver a 100 °C. Ou seja, na altitude do nível do mar, as moléculas de água precisam de mais energia térmica, fornecida na forma de calor, para conseguirem vencer a tensão superficial da água, por conta da pressão atmosférica sobre esta película de água dificultar mais o escape dessas moléculas na forma e vapor. Portanto, como a temperatura é uma grandeza física diretamente associada à energia interna do sistema, quanto maior for a indicação da temperatura, maior será a energia térmica que foi fornecida ao sistema na forma de calor” (O Autor, 2024).

18º Dia: 25 e 26ª Aulas

Objetivos:

- Avaliar a evolução das aprendizagens dos educandos;
- Obter feedbacks pedagógicos dos educandos e refletir sobre os mesmos.

Essas aulas serão destinadas para a construção de um mapa conceitual coletivo a respeito do uso da panela de pressão no cozimento dos alimentos e das fenomenologias ocorridas nesse processo. Esse mapa deve ser construído pelo professor, com auxílio dos educandos da turma, por meio da dialogicidade (Deizoicov; Muenchen, 2013; Mion, 1996; Delizoicov; 1982; Freire, 1987; 2021; Solino; Gehlem, 2015). O mapa conceitual é um instrumento avaliativo precioso para consolidar os conhecimentos físicos construídos por parte dos educandos ao longo da SD (Moreira, 2010). Por meio dele, o professor vai percebendo os avanços obtidos nas aprendizagens de uma forma menos tradicional, como exames teóricos escritos.

Por fim, o professor pode utilizar algum espaço nos momentos finais da última aula, caso houver, para obter alguns feedback pedagógicos dos educandos sobre a SD e avaliação dos mesmos sobre ela, atribuindo uma nota de 0,0 a 10,0 para a SD, em que os educandos

possam comentar quais atividades mais gostaram, quais menos gostaram, se gostariam de ver algum tipo de atividade específica nas aulas de Física em momentos posteriores etc. Caso o professor queira um roteiro pronto para que os educandos possam dar esse feedback, pode utilizar o modelo do Autor (2024), criado no Google Forms. No entanto, pode-se utilizar ele impresso também. Porém, a vantagem do formulário online é que, caso não haja tempo hábil em sala de aula, o mesmo poderá ser enviado aos educandos por meio de um link de acesso para realizarem a avaliação da SD em suas casas e, a partir dos dados obtidos, o próprio formulário gera automaticamente gráficos nas questões objetivas que facilitem a interpretação do professor. O formulário utilizado está logo abaixo.

Feedback Pedagógico: Avaliação da Sequência Didática de Ensino e Aprendizagem

INSTRUÇÃO: Envie seu feedback sobre a Sequência Didática (SD) de Ensino e Aprendizagem de Física que você acabou de concluir, incluindo comentários sobre a estrutura organizacional, os conteúdos e o professor.

1. Após concluir sua participação na pesquisa educacional intitulada "Uma Sequência Didática de Ensino e Aprendizagem em Física a Partir da Panela de Pressão como Equipamento Gerador, à Luz da Alfabetização Técnica", selecione abaixo a opção que condiz com o seu juízo a respeito de sua satisfação quanto à eficácia da Sequência Didática de Ensino e Aprendizagem em Física supracitada durante todo o seu decurso.

- Péssimo
- Ruim
- Regular
- Bom
- Ótimo
- Excelente

2. Selecione abaixo o(s) ponto(s) que você mais gostou ao longo da Sequência Didática.

- Atividades Experimentais

- () Atividades Computacionais
- () Atividades Teóricas
- () Aulas Teóricas
- () Aulas Experimentais
- () Videoaulas

3. Quanto ao nível numa escala de 1 a 5 do seu aprendizado com relação a alguns conceitos e fenômenos físicos associados ao processo de cozimento dos alimentos na panela de pressão, sendo o 1 Péssimo e o 5 Excelente, marque para cada linha o que lhe é pertinente, de acordo com sua autoavaliação.

- () Seus Conhecimentos Prévios
- () Seus Conhecimentos Construídos
- () A Contribuição da Sequência Didática para o desenvolvimento de suas habilidades e competências científicas sobre o uso consciente da panela de pressão.

4. Quais aspectos desta Sequência Didática foram mais úteis ou valiosos para você?

5. O que você sugere para melhorar a Sequência Didática?

6. Tem alguma(s) coisa(s) da Sequência Didática que você gostaria de ter nas aulas de Física com mais frequência? Se sim, diga o que é(são).

Referências

ARAÚJO, J. B. R. **A pedagogia freiriana e o ensino de física: um relato de experiência.** Revista Brasileira de Educação Básica, Belo Horizonte, v. 6, número especial, p. 1-9, 2021. Disponível em <<https://rbeducacaobasica.com.br/a-pedagogia-freiriana-e-o-ensino-de-fisica-um-relato-de-experiencia/>>. Acesso em: 19 set. 2022.

AUTH, M. A. *et al.* **Prática educacional dialógica em física via equipamentos geradores.** Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 12, n.1, p. 40-46, abr. 1995. Disponível em: <<https://antigo.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7138/6594>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

BABINI, M. **A física da panela de pressão.** Uma física, 9, setembro, 2021a. Disponível em: <<https://umafisica.wordpress.com/2021/09/09/a-fisica-da-panela-de-pressao/>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

_____. **Física salva: como usar panelas de pressão.** Uma física, 10, setembro, 2021b. Disponível em: <<https://umafisica.wordpress.com/2021/09/09/a-fisica-da-panela-de-pressao/>>. Acesso em: 28 jul. 2023.

BAHIA. Secretaria da Educação do Estado. **Documento curricular referencial da bahia: etapa ensino médio.** Salvador, 2022. Disponível em: <<http://dcrb.educacao.ba.gov.br/dcrb-volume-2-orientacoes-de-estudos-sobre-o-dcrb-ensino-medio-e-sua-implementacao/>>. Acesso em: 17 maio 2023.

BASTOS, F. P. de. **Alfabetização técnica na disciplina de física: uma experiência educacional dialógica.** 1990. 251 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1990. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/75622?show=full>>. Acesso em: 22 set. 2022.

_____. **Pesquisa-ação emancipatória e prática educacional dialógica em ciências naturais.** Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/000741901>>. Acesso em: 09 set. 2022.

BAZIN, M. O cientista como alfabetizador técnico. *In*: ANDERSON, S.; BAZIN, M. **Ciência e (in)dependência: o terceiro mundo face à ciência e tecnologia.** Lisboa: Livros Horizonte, 1977a, v. 2, p. 94-98. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/651/2022/10/O-cientista-como-alfabetizador-tecnico-Ao-lado-dos-trabalhadores-chilenos-Maurice-Bazin.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

_____. **Ao lado dos trabalhadores chilenos: vivendo e ensinando a ciência para o povo.** *In*: ANDERSON, S.; BAZIN, M. **Ciência e (In)dependência.** Lisboa: Livros Horizonte, 1977b, v. 2, p. 99-110. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/651/2022/10/O-cientista-como-alfabetizador-tecnico-Ao-lado-dos-trabalhadores-chilenos-Maurice-Bazin.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm>. Acesso em: 11 jan. 2022.

_____. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. **Base nacional comum curricular - educação é a base: competências e habilidades específicas em ciências da natureza e suas tecnologias no ensino médio**. Brasília: MEC/CNE, 2018. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#medio/a-area-de-ciencias-da-natureza-e-suas-tecnologias>>. Acesso em: 27 nov. 2022.

CHAVES, A; SAMPAIO, J. F. **Física básica: gravitação, fluidos, ondas, termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 2007b. v. 2.

_____. **Física básica: mecânica**. Rio de Janeiro: LTC, 2007a. v. 1.

DELIZOICOV, D. **Concepção problematizadora do ensino de ciências na educação formal: relato e análise de uma prática educacional na guiné-bissau**. 227 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/000711091>>. Acesso em: 19 set. 2022.

_____. **Ensino de física e a concepção freiriana da educação**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 85-97, 1983. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/39552710/Ensino-de-Fisica-e-a-concepcao-freiriana-da-educacao#>>. Acesso em: 18 mar. 2023.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1990.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2021.

DELIZOICOV, D.; MUENCHEN, C. **A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos**. Revista Ensaio, Belo Horizonte, v. 14, n. 3, p. 199-215, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1983-21172012140313>>. Acesso em: 14 mar. 2023.

FERNANDES, V. L. de. **O que é codificação para paulo freire?** Todas as Respostas, 2, abril, 2022. Disponível em: <<https://todasasrespostas.pt/o-que-e-codificacao-para-paulo-freire#O%20Que%20%C3%89%20Codifica%C3%A7%C3%A3o%20Paulo%20Freire?>>. Acesso em: 17 dez. 2024.

FREIRE, P. **Educação como Prática da Liberdade**. 53. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2019.

_____. **Educação e mudança**. Rio de Janeiro: Paz & Terra, 2020.

_____. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 27. ed. Rio de Janeiro: Paz & Terra, 2021.

_____. **Pedagogia do oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz & Terra, 1987.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

Grupo de Ensino de Física. **Como varia a pressão atmosférica com a altitude?**. UFSM, Santa Maria, 21, fevereiro, 2020. Disponível em: <<https://ufsm.br/r-450-485>>. Acesso em: 24 abr. 2023.

Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 2: física térmica e óptica**. São Paulo: Edusp, 2015. v. 2.

Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Leituras de física: física térmica, para ler, fazer e pensar**. v.2. IFUSP: São Paulo, 2006. Acesso em: 29 abr. 2023. Disponível em: <http://www.if.usp.br/gref/termo/termo3.pdf>.

_____. **Leituras de física: física térmica**. São Paulo: Edusp, 2006. v. 2. Disponível em: <<http://www.if.usp.br/gref/termodinamica.htm>>. Acesso em: 08 mar. 2023.

GUÉMEZ, J.; FIOLEAIS, C.; FIOLEAIS, M. **Fundamentos de termodinâmica do equilíbrio**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1998.

JOSÉ, W. D.; DARLON, D. **Motor elétrico e dínamo de bicicleta: articulações entre equipamentos geradores e três momentos pedagógicos no ensino de física sob o olhar da alfabetização técnica**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 39, n. 3, p. 656-687, dez. 2022. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/84438>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022a.

_____. **Técnicas de pesquisa**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

_____. **Metodologia do trabalho científico**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2022b.

LOCATELLI, R. J. Física com mestre roger. **Os mortos do everest, a panela de pressão e temperatura de ebulição da água**. Youtube, 03, setembro e 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZNIZ6Sggrgs&t=254s>. Acesso em: 11 set. 2022.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: E.P.U., 1986. Disponível em: <[https://www.academia.edu/43066896/Pesquisa_em Educa%C3%A7%C3%A3o_Abordagens_Qualitativas_vf](https://www.academia.edu/43066896/Pesquisa_em_Educa%C3%A7%C3%A3o_Abordagens_Qualitativas_vf)>. Acesso em: 20 ago. 2022.

LUIZ, A. M.; GOUVEIA, S. L. **Elementos de termodinâmica**. Fortaleza: VestSeller, 2006.

MARTINS, P. **Como usar panela de pressão (sem ter medo)**. Aqui na Cozinha, 9, fevereiro, 2013. Disponível em: <<https://www.aquinacozinha.com/como-usar-panela-de-pressao/>>. Acesso em: 25 mar. 2023.

MIGLIAVACCA, A; WITTE, G. **A física na cozinha**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

MION, R. A. **Processo reflexivo e pesquisa-ação**: apontamentos sobre uma prática educacional dialógica em física. Dissertação (Mestrado em Educação) – PPGE, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1996. Disponível em: <<https://www.cedoc.fe.unicamp.br/banco-de-teses/36600>>. Acesso em: 29 maio 2023.

MONTINI, P. L. **Pesado e medido**: uma história (de sucesso) em quadrinhos. São Paulo: IPEM - Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.ipem.sp.gov.br/images/publicacoes/50anos_tiras/50anos_tiras.pdf>. Acesso em: 16 set. 2023.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro, 2010.

MUNAKATA, K. **Física do cotidiano como instrumento para uma abordagem humanizada do ensino de física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 26, n. 3, p. 574-595, dez. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172009000300013&script=sci_arttext>. Acesso em: 02 fev. 2023.

NEUZA. **Expectativas superadas na 5ª feira gastronômica de mariscos da barra de caravelas**. Bahiaextremosul, 31, janeiro, 2022. Disponível em: <<https://www.bahiaextremosul.com.br/expectativas-superadas-na-5-feira-gastronomica-de-mariscos-da-barra-de-caravelas>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

NEVES, M. N. L.; AUTH, M. A. **O liquidificador como equipamento gerador no processo de ensino-aprendizagem de Física**. In: Anais de Encontro Científico de Física Aplicada, XIII Encontro Científico de Física Aplicada, 2023. Disponível em: <<https://even3.blob.core.windows.net/processos/14541f7893394f7c8950.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2024.

NUNES, L. A. O. Oficiencia. **Como funciona**: a panela de pressão. Youtube, 28, janeiro e 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=MQUzdOh8JHc>>. Acesso em: 13 set. 2022.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**: fluídos, oscilações e ondas, calor. 5. ed. São Paulo: Blücher, 2014b. v. 2.

_____. **Curso de física básica**: mecânica. 5. ed. São Paulo: Blücher, 2014a. v. 1.

OLIVEIRA, A. F. de *et al.* **A humanização do ensino de Física**: uma proposta de abordagem. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 1, p. 1-13, abr. 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172017000100306&script=sci_arttext>. Acesso em: 08 maio 2023.

OLIVEIRA, M. J. de. **Termodinâmica**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

OPENAI. (2021). ChatGPT [versão 3.5]: **Conversas com um modelo de linguagem avançado**. Disponível em: <https://www.openai.com/chatgpt/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

PERNAMBUCO, M. M. C. A. **Ensino de ciências a partir de problemas da comunidade**. 276 f. Dissertação (Ensino de Ciências, Modalidade Física) – Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1981. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81131/tde-13042022-092029/pt-br.php>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

Professor Thiago. **Equação de clapeyron e clausius clapeyron (diagramas de fases de substâncias puras)**. Youtube, 15, agosto e 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=-BkaA6VUGOY>>. Acesso em: 21 fev. 2023.

RODRIGUES, E. B.; POSSAMAI, L. M. **A panela de pressão e a física, como método pedagógico do cotidiano à inclusão de experimento científico**. Revista FACISA Online, Barra do Garças, v. 8, n. 2, p. 161-172, jul. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.unicathedral.edu.br/index.php?journal=revistafacisa&page=article&op=view&path%5B%5D=495&path%5B%5D=369>>. Acesso em: 09 jan. 2023.

ROSA, C. T. W. da *et al.* **A cozinha como laboratório para discutir física de forma contextualizada**. Revista Vivências, Erechim, v. 16, n. 31, p. 63-73, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.31512/vivencias.v16i31.170>>. Acesso em: 06 jul. 2023.

SANTOS, A. G. F. dos; OLIVEIRA, R. D. V. L. de; QUEIROZ, G. R. P. C. **Conteúdos cordiais: física humanizada para uma escola sem mordaza**. São Paulo: Livraria da Física, 2021.

SANTOS, T. T; MEIRELLES, R. M. S. **Potencialidades dos temas geradores no ensino de ciências**. Revista Educação Pública, Rio de Janeiro, v. 19, n. 5, p. 1-4, 2019. Disponível em <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/19/5/potencialidades-dos-temas-geradores-no-ensino-de-ciencias>. Acesso em: 09 out. 2022.

SILVEIRA, F. L. da. **Como calcular a pressão na panela de pressão conhecida a temperatura?**. CREF-UFRGS, Porto Alegre, 15, julho, 2015. Disponível em: <<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=como-calcular-a-pressao-na-panela-de-pressao-conhecida-a-temperatura>>. Acesso em: 30 nov. 2022.

_____. **Onde se cozinha mais rápido, em bh ou em la paz?**. CREF-UFRGS, Porto Alegre, 4, março, 2013. Disponível em: <<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=onde-se-cozinha-mais-rapido-em-bh-ou-la-paz>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

_____. **Ponto de ebulição de uma solução aquosa salina**. CREF-UFRGS, Porto Alegre, 21, janeiro, 2019. Disponível em: <<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=ponto-de-ebulicao-de-uma-solucao-aquosa-salina>>. Acesso em: 22 set. 2023.

_____. **Pressão em uma “panela de pressão”: como calcular?**. CREF-UFRGS, Porto Alegre, 10, dezembro, 2020. Disponível em: <<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=pressao-em-uma-panela-de-pressao-como-calcular>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

_____. **Pressão na panela**. CREF-UFRGS, Porto Alegre, 4, outubro, 2010. Disponível em: <<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=pressao-na-panela>>. Acesso em: 17 nov. 2022.

SOLINO, A. P.; GEHLEN, S. T. **O papel da problematização freireana em aulas de ciências/física:** articulações entre a abordagem temática freireana e o ensino de ciências por investigação. Revista Ciência & Educação, Bauru, v. 21, n. 4, p. 911-930, 2015. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/G7RT7TN5Pdz58qNKG5WwRZk/?lang=pt>>. Acesso em: 13 maio 2022.

University of Colorado Boulder. PhET™ Interactive Simulations. **States of matter:** phase changes. © 2002 – 2023. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter/latest/states-of-matter_all.html>. Acesso em: 22 out. 2023.

YAMAMOTO, K; FUKU, L. F. **Física para o ensino médio:** terminologia, óptica e ondulatória. 4. ed. v. 2. São Paulo: Saraiva, 2017.

Apêndice A – Termo de Autorização Escolar



TERMO DE AUTORIZAÇÃO ESCOLAR

Eu, **Luiz Leonardo Soares Ferreira**, na condição de gestor do Colégio Polivalente de Caravelas, situado na avenida das Palmeiras, número 77, bairro Nova Coréia, Caravelas-BA, autorizo a realização de uma sequência didática de ensino e aprendizagem vinculada ao *Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)* da *Sociedade Brasileira e Física (SBF)* e amparado pela *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)*, nas dependências desta escola, conforme as seguintes condições:

- 1. Turma, turno e período da aplicação:** A sequência didática será aplicada junto à turma 2AMS no turno matutino, todas as quartas-feiras, das 8:20 as 9:10, e no turno vespertino, todas as quintas-feiras, das 14:30 as 17:30. A sequência didática terá início a partir da segunda semana de setembro de 2023 e se poderá se estender até a última semana do mês de novembro do mesmo ano.
- 2. Locais de realização na escola:** As atividades serão realizadas nas seguintes dependências da escola: *Sala de aula designada para a turma; Laboratório de Ciências; Laboratório de Informática; Biblioteca.*
- 3. Responsável pela sequência didática:** O professor efetivo de Física da escola, Raphael Lima Sodré, inscrito sob o número de matrícula estadual 85201511 e CPF 03877233589, aluno do MNPEF do polo 62 (UESB: Vitória da Conquista – BA) sob a matrícula acadêmica 2022F0142, será o responsável pelo planejamento e condução das atividades, além do acompanhamento da turma durante todo o desenvolvimento da sequência didática.
- 4. Objetivo da pesquisa:** Aplicar e avaliar uma sequência didática de ensino e aprendizagem em Física para desenvolver uma série de atividades acadêmicas de cunho científico, de modo a coletar dados que possam contribuir para a melhoria do Ensino de Física no Brasil, sobretudo nas escolas públicas. A pesquisa é intitulada como *“DA COZINHA PARA A SALA DE AULA: Uma Possibilidade de um Ensino de Física a Partir da Painel de Pressão como Equipamento Gerador”*.
- 5. Compromisso:** O professor se compromete a zelar pela integridade dos alunos durante a realização da sequência didática, sobretudo a do laboratório de ciências. Qualquer dano ou incidente será comunicado imediatamente à direção da escola para que as medidas necessárias sejam tomadas a fim de reparar ou resolver a situação.
- 6. Autorização da direção e contato:** A presente autorização foi concedida com a devida ciência e aprovação da equipe diretiva da escola. Em caso de dúvidas, esclarecimentos ou demais necessidades de contato, contatar a direção da escola por meio do endereço físico supracitado ou número de telefone (73) 3297 - 1008. A direção da escola reserva-se o direito de revogar esta autorização caso haja qualquer violação das normas da instituição.

Este termo de autorização tem validade apenas durante o período especificado e está sujeito a revisão e alteração, se necessário. A direção da escola reserva-se ao direito de revogar esta autorização caso haja qualquer violação das normas da instituição.

Assinatura e carimbo do diretor.

Luiz Leonardo Soares Ferreira
 Diretor - Aut. 90695/22
 Port. 474/2016 - D.O. 26/01/2016
 Col. Polivalente de Caravelas
 Vol. 17/04/2025

Data: 12 de setembro de 2023

Apêndice B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

() Declaro que sou maior de idade e autorizo a minha participação... ou () Autorizo a participação do meu tutelado menor de idade... em uma sequência didática de ensino e aprendizagem em Física vinculada ao *Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)* nas dependências do Colégio Polivalente de Caravelas, situado na Avenida das Palmeiras, número 77, Nova Coréia, Caravelas-BA, conforme as seguintes condições pré-estabelecidas abaixo:

- 1. Turma, Turno e Período da Aplicação:** A sequência didática será aplicada junto à turma 2AMS no turno matutino, todas as quartas-feiras, das 8:20 as 9:10, e no turno vespertino, todas as quintas-feiras, das 14:30 as 17:30. A sequência didática terá início a partir da segunda semana de setembro de 2023 e se poderá se estender até a última semana do mês de novembro do mesmo ano.
- 2. Locais de Realização na Escola:** As atividades serão realizadas nas seguintes dependências da escola: *Sala de aula designada para a turma; Laboratório de Ciências; Laboratório de Informática; Biblioteca.*
- 3. Responsável pela Sequência Didática:** O professor efetivo de Física da escola, Raphael Lima Sodré, inscrito sob o número de matrícula estadual 85201511 e CPF 03877233589, aluno do MNPEF do polo 62 (UESB: Vitória da Conquista – BA) sob a matrícula acadêmica 2022F0142, será o responsável pelo planejamento e condução das atividades, além do acompanhamento da turma durante todo o desenvolvimento da sequência didática.
- 4. Objetivo da Pesquisa:** Aplicar e avaliar uma sequência didática de ensino e aprendizagem em Física para desenvolver uma série de atividades acadêmicas de cunho científico, de modo a coletar dados que possam contribuir para a melhoria do Ensino de Física no Brasil, sobretudo nas escolas públicas. A pesquisa é intitulada como *“DA COZINHA PARA A SALA DE AULA: Uma Possibilidade de um Ensino de Física a Partir da Panela de Pressão como Equipamento Gerador”*.
- 5. Compromisso:** O professor se compromete a zelar pela integridade dos alunos durante a realização da sequência didática, sobretudo a do laboratório de ciências. Qualquer dano ou incidente será comunicado imediatamente à direção da escola para que as medidas necessárias sejam tomadas a fim de reparar ou resolver a situação.
- 6. Autorização da Direção e Contato:** A presente autorização foi concedida com a devida ciência e aprovação da equipe diretiva da escola. Em caso de dúvidas, esclarecimentos ou demais necessidades de contato, contatar a direção da escola por meio do endereço físico supracitado ou número de telefone (73) 3297 - 1008. A direção da escola reserva-se o direito de revogar esta autorização caso haja qualquer violação das normas da instituição.

Eu compreendi os termos acima e concordo em permitir a participação do meu tutelado (caso seja o responsável legal do aluno menor de idade) ou minha própria participação (caso seja maior de idade) na sequência didática mencionada. Reconheço que eu o aluno participante tem o direito de retirar sua participação a qualquer momento, sem que haja qualquer tipo de prejuízo pessoal ao mesmo.

Nome completo do aluno menor: _____

Assinatura do responsável legal do aluno menor: _____

Assinatura do aluno maior de idade: _____

Data: 14 de setembro de 2023.

Apêndice C – Custos para Adaptação da Painela de Pressão

Tabela 1 – Relação de materiais e serviço para a adaptação da painela de pressão e utilização na SD.

Item	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Frete (R\$)	Custo Total (R\$)
Manômetro vertical de rosca 1/8	01	39,50	*****	39,50
Selante de silicone p/ motor	01	18,53	*****	18,53
Termômetro vertical de rosca 1/2	01	119,90	*****	119,90
Arruela 1/2	02	1,50	*****	3,00
Termômetro capilar de álcool	01	34,60	15,80	50,4
Painela de pressão pequena	01	39,90	*****	39,90
Mão de obra (torneiro mecânico)	01	100,00	*****	100,00
Fita veda-rosca	01	3,40	*****	3,40
Balança digital de cozinha	01	48,99	15,80	64,79
Fogareiro portátil	01	162,34	*****	162,34
Cartucho gás butano p/ fogareiro	04	13,60	*****	54,40
Paquímetro digital	01	39,90	18,12	58,02
Total	16	*****	*****	714,18

Fonte: Produzido pelo Autor (2024).

Anexo – Texto “A Panela de Pressão”

Acesse com seu dispositivo celular, aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto ao texto utilizado na SD. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: <https://docs.google.com/document/d/1pICsDG4BmgSV5mqUNyG7nqA1-OuD37Dp/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



ANEXO A – TEXTO “A PANELA DE PRESSÃO”

Acesse com seu dispositivo celular, aponte o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto ao texto utilizado na SD. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: <https://docs.google.com/document/d/1pICsDG4BmgSV5mqUNyG7nqA1-OuD37Dp/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



ANEXO B – TEXTO 1 “A ENERGIA COMO PILAR CENTRAL DA CIVILIZAÇÃO”

Acesse com seu dispositivo celular, apontando o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto ao texto utilizado na SD. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: <https://docs.google.com/document/d/1RSj8KOt9RLwncXfYConzROgtGCB-uCV7/edit?usp=sharing&ouid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



ANEXO C – TEXTO 2 “PANELA DE PRESSÃO: CONHEÇA A HISTÓRIA E A CIÊNCIA POR TRÁS DO SEU FUNCIONAMENTO”

Acesse com seu dispositivo celular, apontando o leitor de códigos para o QR Code abaixo para ter acesso direto ao texto utilizado na SD. Caso não consiga acessar por esse QR Code, o acesso direto ao arquivo texto também pode ser feito por meio do Link: <https://docs.google.com/document/d/10RdPkZ7XMEj9Yc00SVzRXns-Z3hb7dKK/edit?usp=sharing&oid=116099474010644649250&rtpof=true&sd=true>



ANEXO D – REPRESENTAÇÃO GENÉRICA DE UM DIAGRAMA DE FASES

Figura 105 – Diagrama de fases.



Fonte: Gouveia (s.d., online).