



UESB
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO SUDOESTE DA BAHIA



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



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

**O RÁDIO, A ANTENA E OS GASES DE EFEITO ESTUFA: UMA UNIDADE DE
ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA UM ESTUDO
TRANSDISCIPLINAR DOS PRINCÍPIOS FÍSICOS PRESENTES NO CLIMA E
SUAS MUDANÇAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ERNANDE OLIVEIRA SOUZA

VITÓRIA DA CONQUISTA – BAHIA

MAIO 2026

ERNANDE OLIVEIRA SOUZA

O RÁDIO, A ANTENA E OS GASES DE EFEITO ESTUFA: UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA UM ESTUDO TRANSDISCIPLINAR DOS PRINCÍPIOS FÍSICOS PRESENTES NO CLIMA E SUAS MUDANÇAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação (PPG) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) como parte dos requisitos necessários do Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) 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.

Orientador: Prof. Dr. Luizdarcy de Matos Castro

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Takiya

VITÓRIA DA CONQUISTA – BAHIA

MAIO 2026

S715r

Souza, Ernande Oliveira.

O rádio, a antena e os gases de efeito estufa: uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para um estudo transdisciplinar dos princípios físicos presentes no clima e suas mudanças / Ernande Oliveira Souza, 2026.

121 f. : il. , color.

Orientador (a): Dr. Luizdarcy de Matos Castro.

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, 2026.

Inclui referências F. 114 - 117

Contem produto educacional.

1.Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. 3. Aprendizagem Significativa. 4. Princípios físicos do clima. 5. Gases de Efeito Estufa. I. Castro, Luizdarcy de Matos. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF. III. T.

CDD 551.523

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

Bibliotecária UESB – Campus Vitória da Conquista -BA



ATA DE BANCA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos vinte e sete dias do mês de fevereiro de 2026, às 9h, via videoconferência, pela plataforma GoogleMeet, instalou-se a Banca Examinadora para avaliação da dissertação intitulada *O RÁDIO, A ANTENA E OS GASES DE EFEITO ESTUFA: UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA UM ESTUDO TRANSDISCIPLINAR DOS PRINCÍPIOS FÍSICOS PRESENTES NO CLIMA E SUAS MUDANÇAS*, de autoria de Ernande Oliveira Souza, 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. Luizdarcy de Matos Castro, orientador do mestrando e contou com a participação da professora Dra. Cristina Porto Gonçalves e do professor Dr. Roberto Claudino Ferreira, 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, 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.

Documento assinado digitalmente
gov.br LUIZDARCY DE MATOS CASTRO
Data: 27/02/2026 11:53:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luizdarcy de Matos Castro
Presidente da Banca Examinadora/Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br CRISTINA PORTO GONCALVES
Data: 27/02/2026 15:20:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Cristina Porto Gonçalves
Examinadora interna

Documento assinado digitalmente
gov.br ROBERTO CLAUDINO FERREIRA
Data: 05/03/2026 13:08:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Roberto Claudino Ferreira
Examinador externo

Documento assinado digitalmente
gov.br ERNANDE OLIVEIRA SOUZA
Data: 28/02/2026 17:41:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ernande Oliveira Souza
Discente

Documento assinado digitalmente
gov.br WAGNER DUARTE JOSE
Data: 27/02/2026 15:07:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

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

2026



O RÁDIO, A ANTENA E OS GASES DE EFEITO ESTUFA: UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA UM ESTUDO TRANSDISCIPLINAR DOS PRINCÍPIOS FÍSICOS PRESENTES NO CLIMA E SUAS MUDANÇAS


AUTORIA: ERNANDE OLIVEIRA SOUZA

DATA DE APROVAÇÃO: 27 DE FEVEREIRO DE 2026

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

Documento assinado digitalmente
 LUIZDARCY DE MATOS CASTRO
Data: 27/02/2026 11:58:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Luizdarcy de Matos Castro
Presidente da Banca Examinadora/Orientador

Documento assinado digitalmente
 CRISTINA PORTO GONCALVES
Data: 27/02/2026 15:20:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Cristina Porto Gonçalves
Examinadora interna

Documento assinado digitalmente
 ROBERTO CLAUDINO FERREIRA
Data: 05/03/2026 13:08:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Roberto Claudino Ferreira
Examinador externo

2026



DEDICATÓRIA

À minha mãe, **Maria**, e ao meu pai, **Laudelino**, por tudo que me ensinaram durante todos esses anos.

À minha esposa, **Adelania**, pelo companheirismo, amor e incentivo em cada etapa.

Às minhas filhas, **Érica** e **Cecília**, pelo carinho e confiança.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a **DEUS**, por tudo que me concedeu ao longo da vida.

Aos meus pais, **Laudelino** e **Maria**, por compreenderem minha ausência e me incentivarem durante todos esses anos.

À minha esposa, **Adelania**, pelo carinho, apoio, paciência e compreensão durante esse período.

Aos meus sogros, **Angélica** e **Altélcio**, por todo apoio.

Às minhas filhas, **Érica** e **Cecília**, pela confiança transmitida.

Aos meus irmãos, irmãs, sobrinhos e sobrinhas, pelo carinho e confiança depositados em mim.

Aos meus orientadores, **Luizdarcy** e **Carlos Takiya**, pelas grandes contribuições, apoio, dedicação e paciência.

Aos meus colegas de Mestrado, **Maria da Ressurreição (Ressu)**, **Thuane**, **Dean**, **Isac**, **Jean**, **João Victor**, **Ricardo** e **Wadson**, pelas parcerias e amizades.

À **Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia**, por mais essa oportunidade em minha vida.

À coordenação do polo 62: à professora **Cristina** e ao professor **Luizdarcy**, no período de ingresso, e aos professores **Wagner** e **Carlos Alexandre**, no período seguinte.

Aos **professores** do **Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física** da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Aos meus professores do **Curso de Licenciatura em Física – EAD**, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em especial ao professor **Roberto Claudino**, pelas oportunidades, à professora **Simara**, pela dedicação, apoio e esforço sem medida, à professora **Cristina** e ao professor **Luizdarcy**, pela confiança e motivação.

Aos meus colegas do curso de Licenciatura em Física – EAD, e aos tutores, em especial, **Zenaide** e **Joane**, pelo grande incentivo, motivação e confiança.

À **Sociedade Brasileira de Ensino de Física**, pela implementação do programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, em nosso polo.

À CAPES, pelo financiamento. Sou grato pela oportunidade de aprimorar-me

academicamente. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À minha amiga **Vilma Santana** e demais colegas de trabalho, pelo incentivo e confiança.

Ao **Colégio Estadual de Tempo Integral de Maetinga**, pela oportunidade.

Aos meus **discentes** do 3º ano B (2024), do Colégio Estadual de Tempo Integral de Maetinga, e seus responsáveis, por aceitarem contribuir com esse desafio.

“Se o conhecimento pode criar problemas, não é através da ignorância que podemos solucioná-los.” (Isaac Asimov)

RESUMO

O trabalho aqui descrito apresenta uma proposta de estudo transdisciplinar de princípios físicos presentes no clima e suas mudanças, por meio da elaboração, aplicação e avaliação de uma sequência didática. A pesquisa tem como problematização o como elaborar, aplicar e verificar a eficácia de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, de forma transdisciplinar, para o estudo de princípios físicos presentes no clima e suas mudanças, relacionados aos gases de efeito estufa. A proposta é ancorada nas teorias da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e Aprendizagem Significativa Crítica de Marco A. Moreira, com uma abordagem do pensamento transdisciplinar de Nicolescu Basarab e Morin. A pesquisa foi realizada em uma turma de 3º ano do Ensino Médio no Colégio Estadual de Tempo Integral de Maetinga, em Maetinga. Durante a abordagem do tema, foram utilizados textos e questionários para o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes, realização de experimento, simulações virtuais e apresentações de vídeos e slides. A análise dos resultados indica uma notável evolução do conhecimento dos estudantes sobre o tema e conteúdos ministrados, evidenciando uma aprendizagem significativa e crítica e eficiência da proposta implementada.

PALAVRAS-CHAVE: Unidade de Ensino Potencialmente Significativa; Aprendizagem Significativa; Princípios Físicos do Clima; Gases de Efeito Estufa.

ABSTRACT

The work described here presents a proposal for a transdisciplinary study of physical principles present in the climate and its changes, through the elaboration, application and evaluation of a didactic sequence. The research has as its problematization: how to develop, apply and verify the effectiveness of a Potentially Significant Teaching Unit, in a transdisciplinary way, for the study of physical principles present in the climate and its changes, related to greenhouse gases. The proposal is anchored in the theories of Meaningful Learning, by David Ausubel and Aprendizagem Significativa Crítica, by Marco Antonio Moreira, with an approach to the transdisciplinary thinking of Nicolescu Basarab and Morin. The research was carried out in a 3rd year high school class at Colégio Estadual de Tempo Integral de Maetinga, in Maetinga. During the approach to the topic, texts and questionnaires were used to survey students' prior knowledge, carry out experiments, virtual simulations and video and slide presentations. Analysis of the results indicates a notable Evolution of students' knowledge about the topic and content taught, showing significant and critical learning and the efficiency of the implemented proposal.

KEYWORDS: Potentially Significant Teaching Unit; Meaningful Learning; Physical Principles of Climate; Greenhouse Gases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aumento da temperatura média global desde 1850	21
Figura 2 - Aumento da temperatura média do oceano desde 1850	21
Figura 3 - Aumento do nível médio do oceano	22
Figura 4 - Mudanças na concentração de CO_2 e variações na temperatura global ..	22
Figura 5 - Ilustração da ação dos gases de efeito estufa	45
Figura 6 - Absortividade de alguns gases e da atmosfera	47
Figura 7 - Representação do albedo	49
Figura 8 - Espectro eletromagnético	51
Figura 9 - Cavidade de um corpo negro	55
Figura 10 - Radiância espectral de corpo negro	56
Figura 11 - Lei de Rayleigh-Jeans x Experimentos	58
Figura 12 - Lei de Planck X Lei de Rayleigh-Jeans	60
Figura 13 - Espectro de radiação ao nível do mar, topo da atmosfera e corpo negro.....	61
Figura 14 - Evolução da luminosidade solar calculada a partir do modelo citado	62
Figura 15 - Evolução da luminosidade solar para quatro eras geológicas	62
Figura 16 - Ciclo solar com a consequente variação da irradiância solar I	63
Figura 17 - A energia que a Terra recebe é a mesma que a recebida por um disco	64
Figura 18 - Representação esquemática do albedo	65
Figura 19 - Espectro de radiação da Terra	66
Figura 20 - Ondas de rádio e campos eletromagnéticos	75
Figura 21 - Estudantes refazendo as questões do texto um	76
Figura 22 - Temperatura com menor concentração de gás de efeito estufa	77
Figura 23 - Temperatura com maior concentração de gás de efeito estufa	77
Figura 24 - Molécula e Luz	78
Figura 25 - Realização dos experimentos	80
Figura 26 - Estudantes realizando avaliação final da aprendizagem	82
Figura 27 – Resultado do questionário Likert	86
Figura 28 - Resultado do questionário Likert	87
Figura 29 - Resultado do questionário Likert	87
Figura 30 - Resultado do questionário Likert	88

Figura 31 - Resultado do questionário Likert	88
Figura 32 - Resultado do questionário Likert	89
Figura 33 - Resultado do questionário Likert	89
Figura 34 - Resultado do questionário Likert	90
Figura 35 - Resultado do questionário Likert	90
Figura 36 - Resultado do questionário Likert	91
Figura 37 - Resultado do questionário Likert	91
Figura 38 - Resultado do questionário Likert	92
Figura 39 - Resultado do questionário Likert	92
Figura 40 - Resultado do questionário Likert	93
Figura 41 – Resposta do discente 01	94
Figura 42 - Resposta final do discente 01	94
Figura 43 - Resposta do discente 18	94
Figura 44 - Resposta final do discente 18	94
Figura 45 - Resposta do discente 13	96
Figura 46 - Resposta final do discente 13	96
Figura 47 - Resposta do discente 14	97
Figura 48 - Resposta final do discente 14	97
Figura 49 - Resposta final do discente 13	98
Figura 50 - Resposta final do discente 13	99
Figura 51 - Resposta final do discente 14	99
Figura 52 - Respostas de uma discente sobre o texto 3	100
Figura 53 - Resposta da avaliação da UEPS	101
Figura 54 - Resposta da avaliação da UEPS	102
Figura 55 - Resposta da avaliação da UEPS	102
Figura 56 - Resposta da avaliação da UEPS	102
Figura 57 - Mapa conceitual 1	104
Figura 58 - Mapa conceitual 2	104
Figura 59 - Mapa conceitual 3	105
Figura 60 - Mapa conceitual 4	106
Figura 61 – Resultados das questões de 1 a 5 da avaliação final	107
Figura 62 – Resultado das questões de 6 a 11 da avaliação final	108
Figura 63 - Respostas dos discentes sobre o experimento na avaliação da UEPS	109

Figura 64 - Respostas dos discentes na avaliação da UEPS	110
Figura 65 - Exposição de trabalhos na escola	112

LISTA DE GIFS

Gif 1 - Vibração da molécula de CO_2	48
Gif 2 - Vibração da molécula de CO_2	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dissertações analisadas	28
Quadro 2 - Artigos analisados	29
Quadro 3 - Distribuição das aulas	83

SUMÁRIO

1.0 Introdução	19
1.1 O clima e as mudanças climáticas	19
1.2 Contexto educacional	23
1.3 Problematização	25
1.4 Objetivo geral	25
1.4.1 Objetivos específicos	26
1.5 Estratégias	25
1.6 Descrição dos capítulos	26
2.0 Revisão bibliográfica	28
2.1 Análise das dissertações e artigos selecionados	30
2.2 Contribuições da revisão bibliográfica	34
3.0 Referencial teórico	36
3.1 Aprendizagem Significativa de David Ausubel	36
3.2 Aprendizagem Significativa Crítica	37
3.3 Transdisciplinaridade	40
4.0 Estudo dos princípios físicos presentes no clima	44
4.1 Gases de efeito estufa	44
4.2 Albedo	49
4.3 Espectro eletromagnético	50
4.3.1 Luz visível	51
4.3.2 Infravermelho	51
4.3.3 Micro-ondas	52
4.3.4 Ondas de rádio	52
4.3.5 Ultravioleta	53
4.3.6 Raio X	53
4.3.7 Raios gama	53
4.4 Corpo negro	54
4.4.1 Radiação de corpo negro	55
4.4.2 Lei de radiação de Planck	57
4.4.3 Espectro de radiação da Terra	60
5.0 Procedimentos didáticos-metodológicos	67
5.1 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa – UEPS	67

5.2 Simuladores virtuais	70
5.3 Mapas conceituais	71
6.0 Aplicação do Produto em sala de aula	73
6.1 Descrição das etapas	73
6.1.1 Etapa 1	73
6.1.2 Etapa 2	73
6.1.3 Etapa 3	74
6.1.4 Etapa 4	75
6.1.5 Etapa 5	78
6.1.6 Etapa 6	81
6.1.7 Etapa 7	82
6.1.8 Etapa 8	83
6.2 Cronograma de aplicação	83
7.0 Resultados e discussões	86
7.1 Aplicação do questionário Likert	86
7.2 Textos didáticos	93
7.2.1 O extintor que vazou no carro da polícia	93
7.2.2 O encontro do radinho presunçoso de duas faixas com as moléculas de Oxigênio e o Nitrogênio do ar	95
7.2.3 O super herói que balançava o pente carregado	99
7.3 Perguntas propostas aos estudantes durante as aulas	101
7.4 Os mapas conceituais	103
7.5 Avaliação final da aprendizagem	106
7.6 O experimento	108
7.7 Questionário de avaliação da UEPS	110
8.0 Considerações finais	113
9.0 Referências	115
Anexos	119
Apêndices A – Produto Educacional	122
Apêndice B – Acesso ao questionário Likert	154
Apêndice C – Acesso aos textos didáticos	155
Apêndice D – Acesso aos mini vídeos do histórico do clima	156
Apêndice E - Acesso às videoaulas e documentários	157

1.0 INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo, apresentamos uma sucinta contextualização acerca do tema mudanças climáticas e o contexto educacional associado a esse tópico, além de tratar do problema de pesquisa deste trabalho, objetivos e estratégias, e por fim, fazemos uma breve descrição de cada capítulo da presente dissertação.

1.1 O CLIMA E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Antes de discorrermos acerca das mudanças climáticas, faremos uma pequena abordagem sobre o que se define e entende como clima.

Devido sua complexidade, a definição de clima encontra diferentes opiniões entre geógrafos, meteorologistas e climatologistas acerca da duração das observações de fenômenos que caracterizam o clima (CASADO, 2020, p. 204). Empiricamente, o clima é entendido como a distribuição estatística de fenômenos meteorológicos observados durante um longo período de tempo, em uma determinada região. O intervalo de tempo aceito como padrão pela Organização Meteorológica Mundial para calcular as médias climáticas por meio de observações instrumentais é de 30 anos.

De acordo Varela (2023), as ideias a respeito do clima mudaram ao longo da história. A partir do século XIX sua compreensão pode ser considerada tanto do ponto de vista da Geografia (regiões costeiras, florestais e montanhosas), quanto da Física (troca de calor, variação de temperatura e balanço energético) e da Astronomia (posição e distância da Terra em relação ao Sol).

Atualmente, o sistema climático é compreendido por uma interação entre diferentes subsistemas, que são: hidrosfera, litosfera, biosfera, criosfera e atmosfera, que sofrem influências de fenômenos externos aos componentes terrestres, como, por exemplo, radiação solar e inclinação do eixo de rotação da Terra.

Em relação à hidrosfera, as influências no clima se devem à ação dos rios e oceanos, assim como as superfícies glaciares, neves e geleiras que compõem a criosfera. A biosfera tem seu papel representado pelas vegetações, e a atmosfera, foco principal deste trabalho, contribui fundamentalmente no clima, pois é a camada onde ocorrem os fenômenos meteorológicos e é composta pelos gases de efeito estufa, responsáveis pelo equilíbrio térmico do planeta.

Apesar do não consenso a respeito da definição de clima, pode-se inferir que o clima se caracteriza por diferentes fenômenos, internos e externos ao sistema

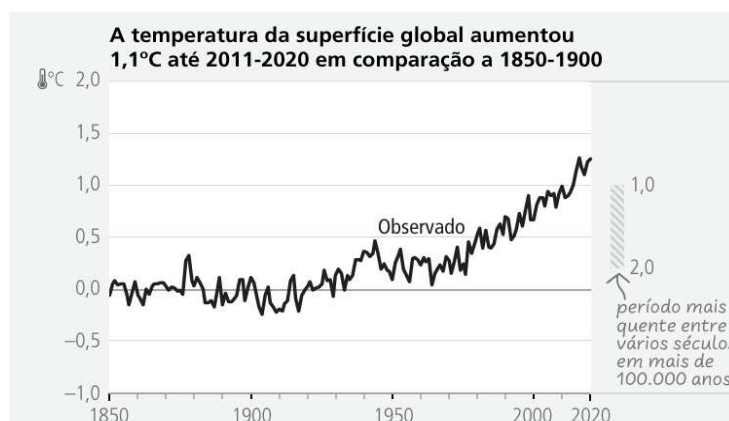
terrestre, que influenciam não somente a vida humana, mas a animal e a vegetal, os ecossistemas e as modificações da superfície terrestre ao longo do tempo.

Nas últimas décadas, as discussões e preocupações com fenômenos climáticos extremos têm ganhado o cenário em jornais, programas de rádio e TV, canais na internet e outros meios de veiculação. Obviamente, essas discussões e preocupações emergem nos meios de comunicação após tramitarem no meio científico e político. O debate e as pesquisas acerca das mudanças climáticas vêm ganhando cada vez mais atenção dos cientistas, que têm alertado quanto às suas causas e impactos sem precedentes e irreversíveis.

Relatórios de trabalhos do Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (PIAC) e do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), enfatizam que o aquecimento do planeta é inequívoco e sem precedentes. O documento elaborado em 2015 destaca que desde 1850, as três décadas anteriores foram sucessivamente cada uma mais quente que a outra, e ambas, mais quentes do que qualquer década anterior a 1850. É importante ressaltar que as mudanças climáticas não se restringem apenas ao aumento da temperatura média do planeta. O aquecimento global é só um dos fenômenos extremos que indicam essas mudanças. Outros fenômenos como a redução das camadas de gelo polar, secas mais severas, inundações mais frequentes, como as ocorridas no Rio Grande do Sul em 2024, ondas de frio extremo e aumento do nível dos oceanos, são outros impactos provocados pelas mudanças climáticas.

Essa instabilidade e mudanças sempre ocorreram no clima ao longo da história desde que se tem registro dos fenômenos climáticos. Entretanto, essas variações têm sido mais constantes, mais aceleradas e mais intensas devido às ações antrópicas a partir da revolução industrial. O sexto relatório do IPCC (AR6, 2023) aponta que as atividades humanas, especialmente as emissões de gases de efeito estufa, propiciaram o aumento da temperatura global, com a temperatura da superfície em todo globo atingindo 1,1 °C mais alta entre 2011 e 2020 em comparação ao período de 1850 a 1900, conforme figura 1. Apesar das propostas de mitigação das emissões desses gases na atmosfera, como Rio – 92, o protocolo de Kyoto em 1997, o acordo de Paris 2015, entre outros, o relatório mostra que as emissões globais de GEE (Gases de Efeito Estufa) continuaram a aumentar de 2010 a 2019.

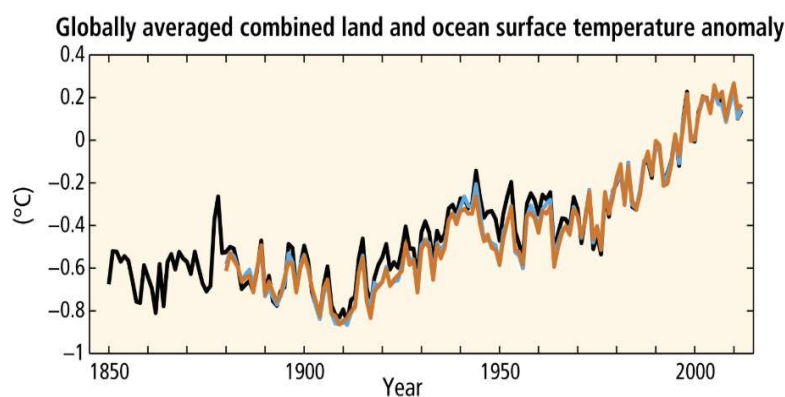
Figura 1. Aumento da temperatura média global desde 1850



Fonte: IPCC, 2023.

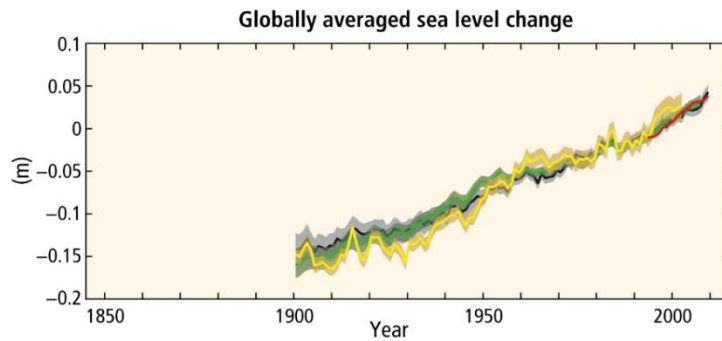
Em 2014, dados dos relatórios dos grupos de trabalhos sobre mudanças climáticas, apresentados pelo IPCC, apontaram que, no período de 1971 a 2010, a temperatura do oceano nos 75 metros superiores aqueceu, em média, 0,11 °C a cada década. No período de 1910 a 2010, essa temperatura média teve um aumento de, aproximadamente, 1 °C. (Figura 2 abaixo) O nível médio do oceano (figura 3) aumentou cerca de 0,19 metros durante o século XX e a extensão de gelo marinho sofreu uma redução considerável durante as décadas de 1979 a 2012.

Figura 2. Aumento da temperatura média do oceano desde 1850



Fonte: IPCC (2014)

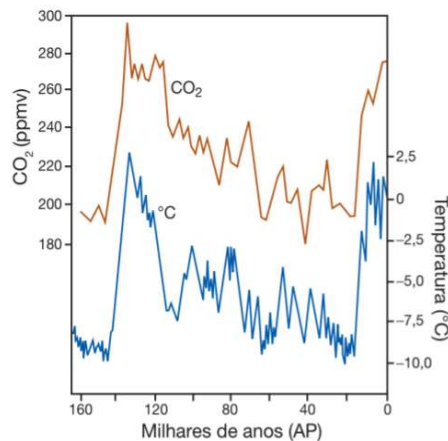
Figura 3. Aumento do nível médio do oceano



Fonte: IPCC (2014)

Dentre os fatores que cooperam para esse aumento acelerado das temperaturas da superfície da Terra e oceanos, as ações antrópicas têm significativa influência a partir da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera por meio da queima de combustíveis fósseis, desmatamento das florestas para a agricultura e pecuária, e as grandes queimadas. Essas ações vêm aumentando a concentração de CO_2 na atmosfera. Em 2019, segundo o IPCC, as concentrações atmosféricas de CO_2 atingiram a marca de 410 ppm (partes por milhão) e o CH_4 alcançou 1866 ppb (partes por bilhão). Essa taxa de concentração de CO_2 antes do período industrial era cerca de 280 ppm (IPCC, 2007). Os estudos indicam a elevação da temperatura média do planeta e níveis dos oceanos acompanhada desse aumento das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera. Conforme mostra a figura 4 a seguir, as variações da temperatura global em milhares de anos apresentam um ritmo semelhante às variações das concentrações de CO_2 .

Figura 4. Mudanças na concentração de CO_2 e variações na temperatura global.



Fonte: Barry e Chorley (2013, p. 25)

Ainda sobre o aumento das emissões de GEE, Conceição, Mendes e Muniz (2015, p. 1) afirmam que “as atividades provenientes da ação das sociedades humanas, como geração de energia, produção agrícola e urbanização, têm acentuado ao longo do tempo a concentração desses gases na atmosfera, acarretando um aumento na absorção do calor.”

Considerando até o ano de 2005, essas concentrações de CO_2 superavam em grandes quantidades as emissões dos últimos 650 000 anos, sendo a taxa de maior variação entre os anos de 1995 a 2005. A partir da revolução industrial, esse aumento também excede, e muito, em relação às mudanças naturais ocorridas entre períodos glaciais e interglaciais. Tais resultados alarmantes sugerem uma mudança de hábitos e políticas de mitigação quanto às emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Nesse sentido, a Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, criada em 1992, define uma estabilização da concentração de gases de efeito estufa em um nível que implica uma interferência antrópica perigosa no sistema do clima.

Algumas das ações nesse sentido de mitigar as concentrações de GEE na atmosfera são o reflorestamento de áreas desmatadas, a retirada de CO_2 da atmosfera por meio do sequestro de carbono, redução do uso de combustíveis fósseis, substituição de fontes de energias altamente poluentes por energias menos poluentes, entre outros.

1.2 CONTEXTO EDUCACIONAL

A sociedade contemporânea, assim como em outras épocas, vive grandes desafios, seja no âmbito social, tecnológico, ambiental ou educacional. No âmbito escolar, os desafios são a necessidade de se adequar às novas demandas do mercado de trabalho e de um ensino mais contextualizado aos acontecimentos e realidades vivenciadas pelos estudantes. Conforme texto da BNCC (2017), a atual sociedade impõe um olhar inovador a questões centrais do processo educativo, como: o que aprender, para quê aprender, como ensinar e promover aprendizagem e como avaliar o aprendizado. Neste cenário, alguns conteúdos e temas, tais como sustentabilidade, produção de energia, meio ambiente e universo, ganham maior valor quanto a sua importância na formação dos sujeitos.

A BNCC apresenta algumas competências e habilidades específicas para a área de Ciências da Natureza no Ensino Médio. A primeira dessas competências estabelece que o educando deve:

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global (BNCC, 2017, p. 540).

Considerando o exposto para tal competência, entende-se a relevância de explorar o estudo dos fenômenos naturais do clima e os princípios físicos concernentes ao clima e suas mudanças. O documento ainda ressalta a importância de avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta. Deste modo, a inserção do tema mudanças climáticas a partir das ações antrópicas e conteúdos de Física relacionados a esse tema é de extrema importância para a formação dos discentes nessa etapa final da educação básica.

Outro ponto fundamental que traz a importância de inserir nas escolas o assunto acerca das mudanças climáticas são as controvérsias que cercam esse tema. Reis, Silva e Figueiredo (2015), entendem que um dos meios para os professores de Física trabalharem a temática ambiental vinculada às mudanças climáticas é a partir de complexidades e controvérsias associadas ao tema.

Dentre essas controvérsias, destacam-se as contribuições das ações antrópicas e dos gases de efeito estufa, foco deste trabalho, na intensificação de fenômenos climáticos extremos, como o aquecimento médio do planeta. Além disso, o negacionismo e o sensacionalismo acerca das mudanças climáticas reforçam essa necessidade de inserir o assunto no currículo dos estudantes, ensejando tirar dúvidas, desmistificar ideias e combater a desinformação.

Diante de tal realidade, a Física como uma Ciência da Natureza apresenta subsídios para um estudo do clima por conter diferentes conceitos e leis aplicáveis à dinâmica do clima. Por outro lado, seu ensino carece de inovação e práticas que contribuam com uma aprendizagem significativa e não mecânica, proporcionando aos estudantes melhor percepção da importância dos conhecimentos desse componente curricular em seu cotidiano. Moreira (2013) aponta diversos desafios para o ensino de Física na educação contemporânea. Segundo o autor, o ensino desse componente:

- se ocupa das alavancas, do plano inclinado e do MRU;
- treina para os testes;
- está centrado no docente;
- segue o modelo da narrativa;
- é comportamentalista;
- é do tipo bancária;

- se ocupa de conceitos fora de foco;
- não incorpora as TICs;
- não incentiva a aprendizagem significativa;
- não busca uma aprendizagem significativa crítica.

Corroborando as afirmações de Moreira, os autores Costa e Barros (2015), enfatizam que o ensino das ciências físicas e naturais no Brasil é caracterizado pela ausência de experimentos, dependência do livro didático, aulas expositivas, além do reduzido número de aulas e a base matemática deficitária. Ainda sobre esse contexto, Bonadiman e Nonenmacher (2007, p. 3,4) destacam que dentre as causas apontadas como dificuldades na aprendizagem de Física, estão a ênfase na física clássica, enfoque demasiado na física matemática, falta de contextualização e linearidade dos conteúdos trabalhados.

Para mitigar esse cenário do ensino de Física no país, algumas ações têm sido desenvolvidas, como pesquisas e propostas voltadas para o ensino de Física, programas de formação de professores, como o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), ofertado pela Sociedade Brasileira de Física (SBF), e as orientações da Base Nacional Comum Curricular (2017) para a área de Ciências da Natureza no Ensino Médio.

1.3 PROBLEMATIZAÇÃO

Neste trabalho, apresentamos a análise da implementação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa em uma turma de 3º ano do Ensino Médio. A proposta tem como problema de pesquisa: de que forma a elaboração e aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, de forma transdisciplinar, contribui para uma aprendizagem significativa e crítica sobre o estudo dos princípios físicos presentes no clima e suas mudanças, associadas aos gases de efeito estufa?

1.4 OBJETIVO GERAL

Elaborar e verificar a aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), transdisciplinar, para o estudo dos princípios físicos presentes no clima e suas mudanças, relacionados ao efeito estufa.

1.4.1 Objetivos específicos

- Elaborar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa;
- Aplicar a UEPS em uma turma da 3ª série do Ensino Médio;

- Analisar a aplicação dessa UEPS por meio dos resultados obtidos;
- Identificar evidências de aprendizagens significativas nesses resultados.

1.5 ESTRATÉGIAS

Como estratégias, foi elaborado uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa dentro dos oito passos propostos por Marco Antonio Moreira. Como recursos, foram utilizados questionários tipo Likert, leitura e discussão de situações apresentadas em textos didáticos, realização de simulações virtuais na plataforma *PhET*, realização de experimento, aulas dialogadas por meio de slides, videoaulas e discussões de questões em sala de aula. Para a avaliação da aprendizagem, foram consideradas, além da participação e assiduidade nas aulas, as respostas das situações apresentadas nos textos didáticos, construção de mapas conceituais, questionário de avaliação da UEPS e avaliação final individual.

1.6 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

Este trabalho está estruturado em oito capítulos, sendo o primeiro deles a introdução com uma apresentação da temática, o contexto educacional, o problema em questão, objetivos e estratégias, já apresentados até aqui. O segundo capítulo aborda a revisão bibliográfica sobre o tema mudanças climáticas e gases de efeito estufa no ensino de Física, realizada em dissertações e artigos.

No terceiro capítulo está o referencial teórico, distribuído em três seções: a primeira trata sobre a Teoria da Aprendizagem Significativa na concepção de Ausubel; a segunda seção aborda a Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira; e por último, o pensamento transdisciplinar de Basarab Nicolescu e Morin. O capítulo quatro refere-se ao estudo dos princípios físicos presentes no clima: gases de efeito estufa, albedo, espectro eletromagnético, corpo negro, radiação de corpo negro, leis da radiação de corpo negro, lei de deslocamento de Wien, lei de Stefan-Boltzmann e espectro de radiação da Terra.

No quinto capítulo, encontra-se os procedimentos didáticos metodológicos utilizados na implementação: as UEPS, os simuladores virtuais e os mapas conceituais. Já o sexto capítulo, apresenta uma descrição da aplicação do produto em sala de aula, elencando cada etapa da UEPS e seu cronograma de aplicação.

As discussões e resultados das atividades aplicadas são apresentadas no sétimo capítulo, demonstrando as evidências de aprendizagens alcançadas no

decorrer da aplicação do produto educacional. Por fim, o oitavo e último capítulo traz as considerações finais destacando os aspectos positivos do material produzido, as aprendizagens e resultados alcançados e uma reflexão quanto à inserção, na sala de aula, do tema mudanças climáticas associadas às ações antropogênicas.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No ano de 2024 e início de 2025, realizamos uma busca bibliográfica de trabalhos acadêmicos nos últimos 16 anos, em nível de dissertação e artigos publicados relacionados ao ensino, com foco no aquecimento global e o efeito estufa, mudanças climáticas e conhecimentos da Física presentes nesses temas.

A pesquisa teve como base o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, em abrangência nacional (<https://www1.fisica.org.br/mnpef/dissertacoes>) e produtos educacionais do MNPEF da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB (http://www2.uesb.br/ppg/mnpef/?post_type=dissertacao). Foram utilizados também outros meios de veiculação, como as plataformas Google e Google Acadêmico com as palavras-chave: A Física do efeito estufa; Física do clima e os gases de efeito estufa; Aquecimento global e mudanças climáticas.

A busca ensejou o levantamento de alguns trabalhos dentro dessa perspectiva, sendo selecionadas cinco dissertações, duas do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Federal de Lavras – MG, polo 13, e Universidade Federal de Santa Catarina, polo 41; uma do Mestrado Profissional em Educação e Docência da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais; uma do Programa de Pós-graduação em Educação, do Instituto de Biociências da Universidade Paulista de Rio Claro; e uma do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais da Universidade Federal do Mato Grosso, conforme quadro abaixo.

Quadro 1: Dissertações analisadas.

	Título	Autor	Ano
1	Ensinando a Física do efeito estufa no 9º ano: uma abordagem baseada na aprendizagem significativa.	Jefferson Adriano Neves MNPEF – UFLA -MG Polo 13	Agosto de 2015
2	Diferentes abordagens no desenvolvimento de uma sequência de ensino CTSA/QSC sobre aquecimento global por três professores em escolas de Minas Gerais.	Tarcísio da Eucaristia Tadeu de Mello PROMESTRE - UFMG	Fevereiro de 2016

3	O tema mudanças climáticas nos livros didáticos de ciências da natureza para o ensino fundamental II: um estudo a partir do PNLD 2014.	Nijima Novello Rumenos Universidade Estadual Paulista – Instituto de Biociências – Rio Claro	Julho de 2016
4	As mudanças climáticas no contexto escolar, das Ciências da Natureza e no ensino de Biologia	Alexandre Fagundes Cesario Programa de pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais UFMT – Instituto de Física	Julho de 2019
5	Física do aquecimento global: uma proposta interdisciplinar para o ensino do espectro eletromagnético	Tânia Aline Varela da Silva MNPEF – UFSC polo 41	Abril de 2021

Fonte: dados da pesquisa.

Além das dissertações, foram analisados também cinco artigos, sendo dois do Caderno Brasileiro de Ensino de Física, um do VIII Colóquio do Museu Pedagógico (UESB), outro publicado na Revista Ensaio; e um publicado na revista Experiências em Ensino de Ciências, apresentados no quadro abaixo.

Quadro 2: Artigos analisados.

	Títulos	Autor	Ano
1	Estudo da Física do efeito estufa através de experimentos de baixo custo	Keila Lopes V. Novais Zenaide Cardoso B. dos Santos N. Oliveira Cristina P. Gonçalves Luizdarcy de M. Castro	Setembro de 2009 VIII Colóquio do Museu Pedagógico
2	Mudanças climáticas: reflexões para subsidiar esta discussão em aulas de Física	Agenor Pina Luciano Fernandes Silva Instituto de Ciências Exatas – UNIFEI Itajubá – MG	Cad. Bras. Ens. Fís., v. 27, n. 3: p. 449-472, dez. 2010.

3	As complexidades inerentes ao tema “mudanças climáticas”: desafios e perspectivas para o ensino de Física	Danielle Aparecida dos Reis Luciano Fernandes Silva Newton Figueiredo	Revista Ensaio Belo Horizonte v.17. n. 3 p. 535-554 set-dez. 2015.
4	Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da Física para a educação básica	Alexandre Luis Junges Vinícius Yuri Santos Neusa Teresinha Massoni	Experiências em Ensino de Ciências V.13, No.5; 2018
5	O “Efeito Estufa” na Sala de Aula: um experimento de baixo custo para demonstrar a absorção de radiação infravermelha por gases estufa como o dióxido de carbono	Alexandre Luis Junges Alexandre José Bühler Neusa Teresinha Massoni Álison F. Schneider Siebeneichler	Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 37, n. 2, p. 849-864, ago. 2020.

Fonte: Dados da pesquisa

2.1 ANÁLISE DAS DISSERTAÇÕES E ARTIGOS SELECIONADOS

Nesta seção, apresentamos o que cada trabalho selecionado estuda, como foi desenvolvido e a sua contribuição em nossa pesquisa a partir das análises realizadas.

Neves (2015), traz como problemática, “Como desenvolver um ambiente construtivista para ensinar a Física do Efeito estufa no nono ano do Ensino Fundamental”. A proposta é fundamentada nas teorias da aprendizagem de Vygotsky, Gowim e Novak, e na aprendizagem significativa de Ausubel e Moreira. A aplicação da proposta em sala de aula se deu por meio de atividade investigativa, a qual buscou identificar os conhecimentos prévios dos estudantes, atividades computacionais com simulações no *PhET*, textos de apoio e atividade avaliativa. No entanto, mesmo ancorada na aprendizagem significativa, a unidade didática não foi estruturada nos oito passos de uma UEPS, proposta por Moreira.

Mesmo abrangendo alguns tópicos comuns da Física, outro ponto que difere a abordagem de Neves é o caráter transdisciplinar e o foco no comportamento das moléculas dos gases de efeito estufa que interagem com a radiação, além do modelo

de unidade de ensino aplicada na pesquisa.

Na sua dissertação, Mello analisa as abordagens no desenvolvimento de uma sequência de ensino tendo como tema norteador o aquecimento global, na qual são trabalhados os conhecimentos da Física dentro da perspectiva Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) por meio das Questões Socio Científicas (QSC). A proposta desenvolvida pelo autor foi levada a três professores de uma escola pública para aplicar em suas turmas. A sequência de ensino envolveu os conhecimentos sobre clima, tempo, temperatura, latitude, aquecimento global, radiação solar, radiações eletromagnéticas e comprimento de onda, albedo da Terra e balanço de energia do planeta, efeito dos gases na atmosfera e interação entre a radiação e os gases.

A sequência é desenvolvida a partir da realização de experimentos, uso de questionários para levantar discussões sobre o tema, textos didáticos para leitura e compreensão do conteúdo, simulações usando o *PhET* e realização de pesquisas.

Em sua pesquisa de mestrado, Rumenos (2016) faz uma análise da temática mudanças climáticas nos livros didáticos de ciências da natureza do Ensino Fundamental II. A autora destaca a importância do processo educativo para lidarmos com os diferentes aspectos da temática ambiental e enfatiza que a discussão do tema e suas controvérsias, em sala de aula, pode auxiliar o professor a relacionar os diferentes aspectos (econômicos, políticos e ambientais) pertinentes ao tema mudanças climáticas. Os problemas ambientais, segundo a autora, são oportunos para a educação ambiental por apresentarem ligações com os conteúdos curriculares do ensino de ciências.

Em relação aos livros didáticos, Rumenos aborda que estes visam incorporar temas, tais como: efeito estufa, destruição da camada de ozônio, poluição ambiental, chuva ácida, água potável, questão energética, entre outros. Como resultado da análise dos livros, a autora relata a presença de assuntos relacionados ao tema mudanças climáticas em livros do 6º ano, com a temática “Terra e Universo”; livros do 7º ano, com a temática “Vida e Ambiente”, porém, segundo a autora, com pouca ênfase; em livros do 9º ano, dentro da temática “Tecnologia e Sociedade”. Os livros do 8º ano, na análise da investigadora, são os que menos abordam o tema. Os assuntos inerentes ao tema encontrados pela pesquisadora foram o efeito estufa, o aquecimento global, causas e consequências das mudanças climáticas e medidas de mitigação relacionadas às mudanças climáticas.

Em sua dissertação, Cesario (2019), faz um estudo da abordagem do tema nos livros didáticos de Ciências da Natureza e uma pesquisa qualitativa com estudantes bolsistas do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC/EM, uma parceria entre a UFMT e a Escola Estadual André Avelino Ribeiro, em Cuiabá.

O autor traz, como problemática, entender como se dá a discussão referente às mudanças climáticas no currículo dos componentes de Ciências da Natureza no Ensino Médio e se há uma abordagem interdisciplinar voltada para essa área. A análise dos resultados se deu a partir do levantamento dos dados bibliográficos, documentos e entrevista com os discentes bolsistas participantes da pesquisa

Da Silva (2021), propõe o estudo do espectro eletromagnético de forma interdisciplinar abordando conceitos das mudanças climáticas que estão ocorrendo ligados a conhecimentos da Física. Nessa perspectiva, a autora aborda efeito estufa, aquecimento global e a Física envolvida nesses fenômenos, levando também em consideração as ações antropogênicas.

A autora discute os principais processos de interação da radiação solar e terrestre com os gases que compõem a atmosfera. Para isso, aborda os conteúdos de ondas mecânicas e eletromagnéticas, dilatação térmica, efeito estufa e aquecimento global. O desenvolvimento da sequência didática se deu na abordagem da CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente), onde se utilizou recursos computacionais e visuais, experimentos virtuais e discussões para trabalhar o assunto.

O artigo dos autores Keila Lopes V. Novais, Zenaide Cardoso B. dos Santos, N. Oliveira, Cristina P. Gonçalves e Luizdarcy de M. Castro, relata um estudo em escolas de Vitória da Conquista no ano de 2009, mostrando a importância do experimento para abordar conceitos relacionados à radiação térmica e aos gases de efeito estufa. A pesquisa se desenvolveu com alunos do segundo ano do Ensino Médio, por meio da aplicação de um questionário sobre o tema e realização de um experimento. Os pesquisadores aplicaram o questionário antes e depois do experimento e teceram uma comparação dos resultados, que demonstraram as contribuições do experimento na aprendizagem dos estudantes.

No artigo “**Mudanças climáticas: reflexões para subsidiar esta discussão em aulas de Física**”, os autores Pina e Silva apontam uma necessidade da discussão de temas sócio científicos controversos em sala de aula que poderiam ser abordados

por professores de ciências em atividades educacionais, em especial os relativos a problemas ambientais, destacando no artigo o tema mudanças climáticas. Os autores salientam que “a Física, por sua própria condição de ciência básica, oferece conceitos e modelos para a compreensão dos fenômenos naturais” e justificam que a inclusão desse tema possibilita aos professores de Física abordar diversos conceitos básicos, tais como: desvio de temperatura, variação do albedo planetário, variações das circulações atmosféricas e planetárias, conservação de energia, espectro da radiação eletromagnética, radiação de corpo negro (emissão e absorção), entre outros.

As complexidades inerentes ao tema “mudanças climáticas”: desafios e perspectivas para o ensino de Física. No referido artigo, os autores Reis, Silva e Figueiredo entendem que temas relacionados às questões ambientais devem envolver a maioria dos componentes curriculares da educação básica, em especial a Física, por apresentar subsídios que auxiliam a compreender vários aspectos associados a esse tema. Nessa perspectiva, os autores propõem o planejamento e a execução de atividades educativas abordando questões socioambientais e conteúdos de Física. A proposta dos autores sugere o estudo do tema “mudanças climáticas” a partir das complexidades e controvérsias relacionadas ao tema, numa visão de que essa abordagem contribui para desmistificar a ideia de uma ciência neutra, isenta de valores e determinista, ao mesmo tempo que o conhecimento científico é válido e indispensável.

Em relação a tópicos específicos de Física, considera os sistemas dinâmicos do clima, as leis da Termodinâmica e o histórico das variações climáticas para auxiliarem o entendimento desse tema. Além de tais tópicos, apontam ainda outros assuntos possíveis de trabalhar, como o espectro da radiação eletromagnética, radiação de corpo negro, dilatação térmica e temperatura. Os autores elencam, ainda, vários fatores internos e externos do sistema Terra-Atmosfera influentes no clima e suas mudanças e consideram que a abordagem dessa temática em aulas de Física possibilita tratar de conteúdos específicos desse componente e discutir problematizações da relação homem-natureza no atual modelo de sociedade.

Os autores Junges, Santos e Massoni (2018), destacam a temática das mudanças climáticas e aquecimento global como um dos principais temas da educação ambiental. Na oportunidade, enfatizam o estudo de conceitos de Física básica ao abordar o tema. Os conceitos mais pertinentes, segundo os autores, são: energia irradiada pelo Sol e o planeta, radiação de corpo negro, espectro

eletromagnético, lei de Stefan-Boltzmann, lei de Wien e albedo do planeta. Desta forma, os autores consideram e sugerem a inserção do tema em sala de aula para melhor compreensão dos fenômenos de efeito estufa e aquecimento global a partir dos estudos dos conhecimentos da Física inerentes a esses fenômenos.

No ano de 2020, Jungues, Bühler, Massoni e Siebeneichler, no artigo, **“O Efeito Estufa” na Sala de Aula: um experimento de baixo custo para demonstrar a absorção de radiação infravermelha por gases estufa como o dióxido de carbono**”, trazem a discussão sobre o tema frisando a existência de concepções equivocadas, de estudantes e até professores, desinformações e ideias pseudocientíficas que circulam nas redes ao se tratar do fenômeno. Diante de tal realidade, os autores consideram que o ensino de Física tem um papel importante quanto à discussão e inserção desse assunto em sala de aula, seja na educação básica, seja na formação de professores, almejando a aprendizagem sobre as propriedades dos gases de estufa e seu potencial na intensificação do fenômeno. Como estratégia metodológica, os autores propõem o uso da experimentação de baixo custo em sala de aula para discutir o assunto, visando a propriedade do dióxido de carbono em absorver a radiação infravermelha, intensificando o efeito estufa terrestre.

2.2 CONTRIBUIÇÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Por meio da revisão bibliográfica selecionada nas seções acima deste capítulo, foi possível notar outras estratégias e propostas para tratar a temática do efeito estufa e as mudanças climáticas dentro do ensino da Física, abordando diversos conteúdos. A pesquisa aponta para uma necessidade cada vez maior da inserção desse debate em sala de aula utilizando a experimentação e a simulação como aliadas na construção do debate, explorando conceitos da Física que, em geral, não são trabalhados no decorrer do ano dentro das escolas públicas. Além disso, indica uma oportunidade para elucidar dúvidas sobre o tema, combater a desinformação e o negacionismo acerca das mudanças climáticas e refletir quanto às contribuições das ações antrópicas nesse cenário e às medidas políticas, econômicas e educacionais, a fim de mitigar os impactos provocados por essas mudanças.

Ainda que os produtos e artigos analisados se aproximam em alguns pontos deste trabalho, por apresentarem conteúdos comuns a serem trabalhados e algumas estratégias parecidas, como o uso de simuladores e experimentação, esta proposta

se difere por apresentar-se alicerçada nos oito passos de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, com uma abordagem transdisciplinar, abrangendo um maior número de conceitos dentro do estudo do tema.

3.0 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente trabalho tem como propósito a construção, aplicação e verificação dos resultados de uma sequência didática para um estudo transdisciplinar dos princípios físicos presentes no clima e suas mudanças, esteada nas teorias da Aprendizagem Significativa de David Ausubel e Aprendizagem Significativa Crítica de Marco Antônio Moreira, elencando aspectos do pensamento transdisciplinar de Morin e Basarab durante a abordagem em sala de aula.

3.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL

A teoria da Aprendizagem Significativa tem seu cerne a partir de ideais do cognitivismo e foi desenvolvida pelo médico, psiquiatra e psicólogo David Paul Ausubel (1918 - 2008) em 1968.

A ideia mais importante na teoria da Aprendizagem Significativa, na concepção de Ausubel, é a de que o fator mais influente na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Não se trata de um pré-requisito, mas de conhecimentos já adquiridos pelos estudantes, denominados de conhecimentos prévios sobre o assunto a ser estudado, que contribuirão na aquisição das novas aprendizagens. Desta forma, faz-se necessário identificar tais saberes, o que pode ser por meio de um questionário, uma situação-problema, um mapa mental ou conceitual, leitura e discussão de um texto, ou por outras atividades que levem o aprendiz a externalizar esse conhecimento, a partir do qual deve ocorrer o ensino.

Para Ausubel, a aprendizagem só é significativa quando a nova informação interage de forma não-arbitrária e não-literal com informações relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Novas ideias e informações podem ser aprendidas à medida que conceitos relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo (MOREIRA e MASSINI, 1982, p. 4). Esses conceitos, chamados de subsunçores, funcionam como ancoradouros da nova informação.

Não há na língua portuguesa a palavra subsunçor e seu significado. Dentro da teoria ausubeliana, os subsunçores são entendidos como as ideias, conceitos e proposições disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo, que auxiliarão na interação com a nova informação. Identificar essa estrutura e ensinar de acordo não é uma incumbência simples, pois requer saber a organização das ideias por parte do aprendiz e as relações estabelecidas entre elas e dispor de organizadores prévios

(materiais ou atividades introdutórias do conteúdo) e recursos capazes de facilitar a aprendizagem significativa.

A interação e influência entre os subsunçores e as novas informações é recíproca. A estrutura cognitiva do indivíduo se modifica, se reorganiza e reestrutura a partir das novas aprendizagens, resultando em um crescimento e modificação dos conceitos e ideias já existentes, adquirindo novos significados.

Outro aspecto fundamental na teoria da Aprendizagem Significativa, é a ideia de significado. Estamos constantemente atribuindo significado às coisas em nosso meio e fazemos isso intencionalmente. De acordo Moreira e Massini (1982, p. 2), é a consciência que atribui significado aos objetos. Desta forma, Ausubel ressalta que é o aprendiz que decide se quer aprender significativamente, pois somos nós enquanto seres humanos que atribuímos significados às coisas. É o estudante que define se um material é significativo ou não e se a aprendizagem alcançada por ele é ou não significativa. Para isso, na concepção de Ausubel, o aprendiz deve apresentar a pré-disposição em aprender significativamente. A partir dessa ideia, conforme Moreira e Massini, a aprendizagem significativa pressupõe que:

- a) o material a ser aprendido seja potencialmente significativo para o aprendiz, i.e., relacionável a sua estrutura de conhecimento de forma não-arbitrária e substantiva;
- b) o aprendiz manifeste uma disposição de relacionar o novo material de maneira substantiva e não-arbitrária a sua estrutura cognitiva. (MOREIRA e MASSINI, 1982, P. 14)

Diante do exposto, a aprendizagem significativa é um processo de interação entre as informações e está associada a aspectos externos e internos ao aprendiz, como os materiais e recursos selecionados e as ideias e conceitos já estabelecidos na mente do educando para interagirem com esses materiais e as novas informações.

3.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA

A teoria da Aprendizagem Significativa Crítica proposta por Marco Antônio Moreira (2005), é uma complementação das ideias da teoria ausubeliana, com foco numa visão humanista, em uma construção do conhecimento tendo o ser humano como centro, valorizando pensamentos e sentimentos dos educandos, cujos princípios são inspirados nas críticas de Postman e Weingartner sobre o ensino tradicional.

A aprendizagem significativa crítica pressupõe a construção de um saber que

está para além do conteúdo específico e do desenvolvimento cognitivo do aprendiz, mas em como usar esse saber criticamente, reconhecendo seu papel social, cultural e histórico no desenvolvimento da humanidade, da ciência e da tecnologia. Essa aprendizagem crítica, segundo Moreira e Massini (2015), requer uma intencionalidade por parte do sujeito para atribuir significados aos conceitos de modo a entender que esses conceitos não são definitivos, nem únicos, eles poderão sofrer mutações ao longo do tempo ou apresentar significados diferentes em outro contexto ou em outra cultura.

A aprendizagem significativa crítica propõe considerar os vários conhecimentos dos educandos (sociais e culturais), aprender a questionar não caindo no reducionismo das respostas prontas ou do uso do certo ou errado, aprender por meio da incerteza, da relatividade, da probabilidade, da não-dicotomização das diferenças, do abandono dos velhos conhecimentos que criam empecilhos para os novos conhecimentos, da reflexão para além do conteúdo ou disciplina específica.

Uma aprendizagem significativa crítica é uma aprendizagem que leva o educando a não ser manipulado, alienado, pelas novas informações e conceitos adquiridos. É uma aprendizagem construtiva, de mudança, que permite ao sujeito, ao mesmo tempo, ser parte de uma cultura e estar fora dela, sem deixar-se agir ceticamente pela sociedade na qual está inserido, mas ser crítico a essa mesma sociedade, levantar questões, problematizar situações e pensar soluções. É uma aprendizagem por meio do questionamento e não das respostas prontas. Aprender a partir de novas atitudes e ideias e não pela repetição das já existentes. Para isso, Moreira (2009), elenca vários princípios e estratégias fundamentais na construção de uma aprendizagem significativa crítica.

O primeiro princípio aqui abordado é o **princípio da interação social e do questionamento: aprender a questionar ao invés de apenas dar respostas prontas**. Não se trata de deixar de lado as respostas existentes, mas de um ensino para além dessa prática, de aprender a elaborar perguntas, aprender a questionar as próprias respostas apresentadas, não no sentido de desacreditá-las, e sim de dar sentido, dar significado a essas respostas, de construir uma aprendizagem sem adestramento.

Outro princípio é o **princípio da diversidade dos materiais: não centralidade do livro didático**. O livro didático na perspectiva da Aprendizagem Significativa Crítica deve ser aproveitado apenas como um entre tantos outros

recursos, não como único material ou ferramenta indispensável no processo. Moreira (2010), cita os artigos científicos, contos, poesias, aplicativos, a internet, como outros recursos capazes de representar o conhecimento humano, capazes de facilitar a aprendizagem, além do mais, segundo o mesmo autor (2009), os livros fornecem sempre a mesma resposta dita como certa e não estimula o questionamento.

O princípio seguinte, **princípio da consciência semântica: aprender que o significado está nas pessoas**, indica que o significado dos objetos ou das palavras está no contexto em que as pessoas estão inseridas. Sendo assim, são as pessoas que dão significado às coisas, não ao contrário. “Sejam quais forem os significados que tenham as palavras, eles foram atribuídos por pessoas” (MOREIRA, 2010). O significado das novas informações será dado à medida que o indivíduo interage com essa informação, suas percepções e representações atribuídas a esses significados. Os materiais instrucionais tornar-se-ão significativos se o aprendiz os perceber assim. A esse princípio estão associados o princípio do conhecimento como linguagem, pois a linguagem é uma maneira singular do indivíduo perceber a realidade, e o princípio do aprendiz como perceptor e representador, ou seja, ele percebe o mundo e o representa.

Outro princípio a ser considerado, **princípio da aprendizagem pelo erro: aprender corrigindo os erros**. Neste caso, o erro não deve ser visto como uma punição, como forma de validar ou não a aprendizagem, mas como um ponto de partida para uma discussão, uma reflexão a partir da correção desse erro. Essa postura pode ser aproveitada traçando um elo entre a aprendizagem na escola e aprendizagem na vida, onde estamos continuamente aprendendo com os erros e não sendo treinados a não errar. Dessa forma, o aprendiz deve ser estimulado a perder o medo de errar e, a partir disso, buscar a aprendizagem ao corrigir o erro.

Seguindo a abordagem dos princípios para a aprendizagem significativa crítica, Moreira considera o **princípio da desaprendizagem: aprender a desconsiderar conceitos inapropriados que geram obstáculos à nova aprendizagem**. A ideia não é eliminar todo conhecimento já existente, mas desapegar de alguns conhecimentos que impedem dar significado ao novo conhecimento.

Um outro princípio elencado, **princípio da incerteza do conhecimento: o conhecimento humano é incerto, evolutivo**. A incerteza não no sentido de não ser válido, mas como um conhecimento em constante evolução, não absoluto, que pode ser melhorado. Aprender que o conhecimento científico não é definitivo, acabado, mas

evolui ao longo do tempo com o surgimento de novos modelos e explicações. Este princípio está imbricado com o princípio de aprender por meio do questionamento.

Finalizando tais princípios, temos o **princípio do abandono do quadro de giz: aprender por meio de diferentes estratégias**. De acordo Moreira e Massini (2015), não significa parar de dar aulas expositivas, mas diante de uma diversidade de recursos e estratégias, não há sentido usar o tempo todo o quadro para escrever e os estudantes copiarem, especialmente no ensino de Física, pois essa estratégia não promove uma aprendizagem significativa, muito menos crítica.

3.3 TRANSDISCIPLINARIDADE

Em 1931, o filósofo e matemático austríaco Kurt Friedrich Gödel (1906 - 1978), lança um novo pensar acerca da lógica clássica, que admite um único nível de realidade, e propõe a existência de diversos níveis de realidade na construção do conhecimento, derrogando com a lógica clássica e sua dicotomia. Essa ruptura instaurada a partir das descobertas quânticas da dualidade da luz e o princípio do indeterminismo é um prelúdio para o pensamento transdisciplinar. “A transdisciplinaridade propõe transcender a lógica clássica” (SANTOS, 2008, p. 74). Sua abordagem no ensino, de acordo Litto e Mello (2000), foi usada por Piaget em 1970 ao tratar da interdisciplinaridade sugerindo que essa deveria ser sucedida por uma etapa maior, a transdisciplinaridade.

A transdisciplinaridade supõe vários níveis de realidade, a não-contradição, a multidimensão do objeto e do saber, e não apenas a visão unidimensional do classicismo. Essa nova visão abre novas possibilidades sugerindo uma terceira opção, definida como o terceiro termo incluído, que leva a um outro nível de realidade, com outros elementos associados, contradizendo outros níveis de realidade, articulando os contrários, ou seja, os contrários não estão mais separados, mas unidos, ligados. Essa articulação (SANTOS, 2008) entre os pares, ascende a compreensão da realidade a outro nível, tomando um significado mais abrangente e aberto a novos processos.

O pensamento transdisciplinar transcende para outros níveis de compreensão dentro do processo de ensino-aprendizagem, fazendo com que o aprender se torne mais completo na medida em que resgata o sentido do conhecimento por meio da interligação entre as diferentes áreas do conhecimento, rompendo com a fragmentação e separação desses conhecimentos entre as disciplinas, transpondo

para além delas. De acordo Morin (2007), não se pode ser transdisciplinar justapondo elementos apenas, é preciso ligar os elementos das diferentes disciplinas. Para Nicolescu (2000, p. 141): “uma educação só pode ser viável se for uma educação integral do ser humano. Uma educação que se dirige à totalidade aberta do ser humano e não apenas a um de seus componentes.”

Sobre transdisciplinaridade, Nicolescu (1999) defende que ela aborda de forma ampla todas as disciplinas:

A transdisciplinaridade, como o prefixo “trans” indica, diz respeito àquilo que está ao mesmo tempo entre as disciplinas, através das diferentes disciplinas e além de qualquer disciplina. Seu objetivo é a compreensão do mundo presente, para o qual um dos imperativos é a unidade do conhecimento. (NICOLESCU, 1999, p.22).

Para o autor, a transdisciplinaridade não se trata de uma nova disciplina nem faz objeção às disciplinas, se trata de uma complementaridade, é uma forma de transcender o nível de realidade. O conhecimento por disciplina segue por um único nível de realidade, sob uma mesma ótica, enquanto na transdisciplinaridade ele está sob uma dinâmica de vários níveis de realidade ao mesmo tempo, relacionados entre as diferentes disciplinas. O pensamento nesse caso, deve estar voltado para além de um único contexto, aberto a transpor e ver além do que já temos ou sabemos. D’Ambrósio (1997), apud Meireles (2016, p. 7): a transdisciplinaridade repousa sobre uma atitude aberta. Essa atitude de abrir as portas para ir mais adiante conduz a novas compreensões e descobertas. Essa abertura significa saber desprender-se dos velhos conhecimentos e aceitar os novos adquiridos na medida que surgem novas realidades e experiências.

A relação entre as diferentes disciplinas, segundo Nicolescu, denomina o que chamamos de interdisciplinaridade e pluridisciplinaridade que, de acordo o autor, compõem as flechas do conhecimento juntamente com a disciplinaridade que se complementam com a transdisciplinaridade.

Sob o ponto de vista disciplinar, é impossível a compreensão do mundo por meio da fragmentação do conhecimento por disciplinas, pois o conhecimento das partes não nos faz entender o todo. Nicolescu (1999) afirma que o coletivo é sempre mais que a soma de suas partes e a interseção entre os diferentes campos do saber é um conjunto vazio. Para ele, o campo das disciplinas é cada vez mais estreito e a comunicação entre elas torna-se ainda mais difícil. A transdisciplinaridade leva a uma interação e entrelaçamento entre os diferentes saberes, as diferentes disciplinas e

para além delas, superando as barreiras e restrições impostas pela estrutura e organização do pensamento dentro do campo de cada uma delas. Ao restringir somente àquilo que está limitado pelo campo do saber das disciplinas, pelos conceitos e axiomas, manter-se-ia no limite do disciplinar, com apenas recortes de partes do todo.

A tecelagem por entre as disciplinas e o avanço para além delas permite novas hipóteses, novas ideias, novas teorias e significados a partir de determinado conteúdo. Caminha-se para uma complexidade maior do pensamento, para uma transformação e evita o reducionismo e o simplismo do conhecimento. Maturana (2000) considera que o aprender não é a aquisição de algo que está lá, é uma transformação em coexistência com o outro.

Neste contexto, o pensamento transdisciplinar realça as ideias de um conhecimento não acabado, não finito, de uma verdade não absoluta, mas de um conhecimento passível de mudanças, não dicotômico, de uma verdade limitada, passível de questionamentos (Santos, 2008). Essas características da abordagem transdisciplinar vão ao encontro dos princípios da Aprendizagem Significativa Crítica. Conforme apresentamos na seção anterior, de acordo Moreira (2010), a aprendizagem significativa crítica propõem aprender a questionar não caindo no reducionismo das respostas prontas ou do uso do certo ou errado, aprender por meio da incerteza, da relatividade, da probabilidade, da não-dicotomização das diferenças, do abandono dos velhos conhecimentos que criam empecilhos para os novos conhecimentos, da reflexão para além do conteúdo ou disciplina específica, de uma formação mais integral do aprendiz. Mesmo sendo teorias totalmente distintas, podemos inferir que a Aprendizagem Significativa Crítica e a Transdisciplinaridade apresentam alguns pontos em comum na construção da aprendizagem.

O ensino a partir do pensamento transdisciplinar pode ser entendido como um comportamento, por parte do professor, que vai da visão local para a global, do particular para o geral, do finito para o infinito, do visível para o não visível, de um planeta para todo o universo, do simples para o complexo. Esse comportamento de ir além, de estar além, de transcender as disciplinas, é a metafísica do processo de ensino/aprendizagem. A aprendizagem na perspectiva transdisciplinar é uma aprendizagem multirreferenciada, considerando as multidimensões do indivíduo, aberta a novas realidades e significados, possibilitando um conhecimento cada vez mais significativo e abrangente.

4.0 ESTUDO DOS PRINCÍPIOS FÍSICOS PRESENTES NO CLIMA

Neste capítulo, são apresentados os princípios físicos presentes no clima. São abordados os conteúdos efeito estufa e gases do efeito estufa, espectro eletromagnético, radiação de corpo negro e espectro de radiação da Terra, balanço de energia, irradiância e albedo da Terra. Foram utilizadas diversas fontes, como livros, artigos, videoaulas e dissertações. As referências para desenvolvimento deste capítulo são: Barry e Chorley (2013); Da Silva (2021); Alvim (2023); Howlett (2024); Ortiz e Jackson (2023); Roberti (Física da Atmosfera, 2013); Medeiros e Scabin (2023); Da Silva, Gómez e Vieira (2018); Stringasci (Instituto de Física de São Carlos, 2011); Nussenzveig (1997); Tipler (1999); Halliday, Resnick e Krane (1996); Palandi, Figueiredo, Denardin e Magnago (2010); Dartora (2015); Eisberg e Resnick (1979) e Aula 02 - Física do Clima, disponível em: - <https://www.youtube.com/watch?v=rawGYOHlJM&t=4034s>.

4.1 GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)

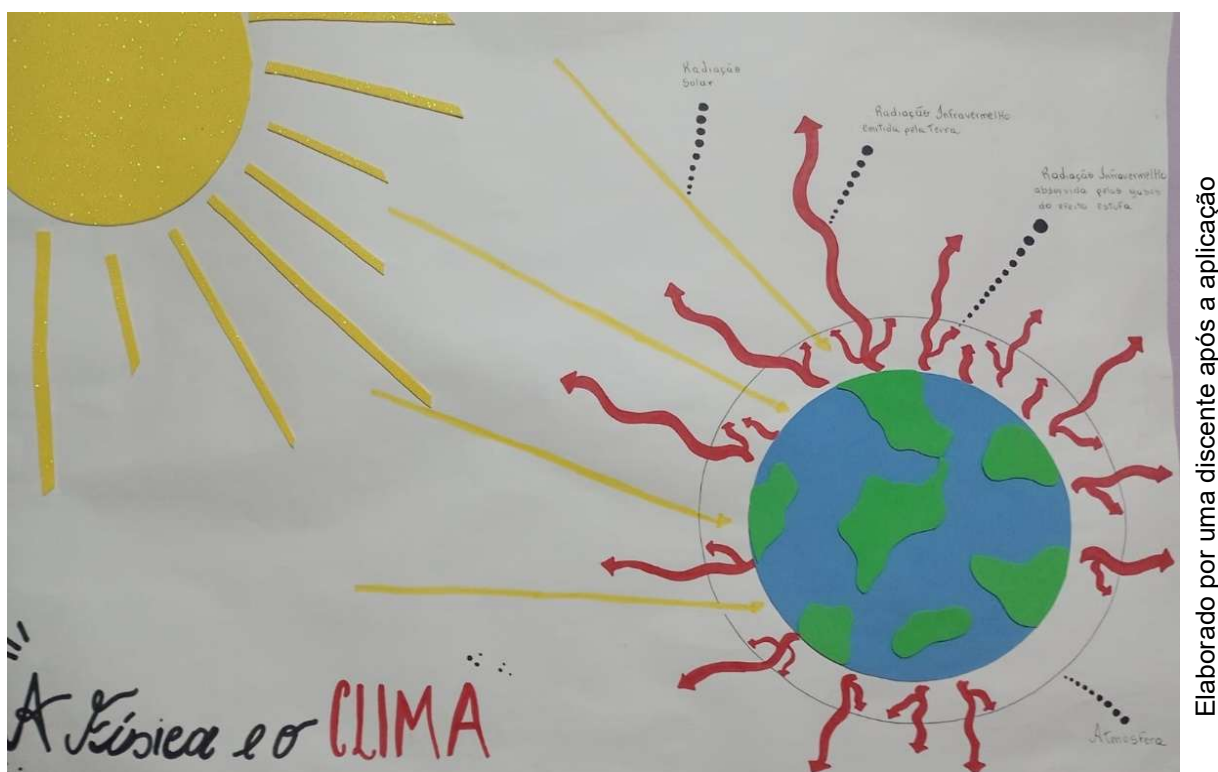
A Terra está envolvida por uma tênue camada gasosa que protege o planeta de radiações de maior intensidade, ao mesmo tempo é transparente à luz visível proveniente do Sol, principal fonte de energia do planeta, e opaca à radiação infravermelha emitida pela própria Terra. Essa camada é conhecida como atmosfera e é composta por diferentes gases, entre eles, os de efeito estufa, como vapor de água (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozônio (O_3) e os clorofluorcarbonetos (CFCs). Esses gases são produzidos por processos naturais, mas também por meio das atividades humanas. O dióxido de carbono, por exemplo, é produzido, entre outras fontes, pela queima dos combustíveis fósseis e materiais orgânicos. O metano tem entre suas fontes produtivas a extração do carvão e óleo, a queima de biomassa e os lixões. Já o óxido nitroso, além da queima de biomassa, pode ser produzido por fertilizantes nitrogenados e pelos transportes.

Os gases de efeito estufa são responsáveis por manter uma menor amplitude térmica, ou seja, uma menor variação da média entre a temperatura mínima e a temperatura máxima do planeta. Dessa forma, esses gases mantêm a Terra cerca de 30 °C mais quente. Embora em pequenas proporções, esses gases desempenham um papel crucial na definição do clima ao interagirem com a radiação infravermelha emitida pela Terra, retendo parte dessa radiação na baixa atmosfera, não permitindo

que toda essa energia escape para o espaço, reemitindo-a de volta à superfície terrestre, gerando o que conhecemos como efeito estufa, vital para o balanço de energia térmica do planeta (BARRY e CHORLEY, 2013, p. 14). Em um estado de equilíbrio desse balanço de energia, a energia solar média absorvida pelo planeta é balanceada pela emissão média de ondas longas para o espaço. O desequilíbrio nesse processo ocorre quando há menos energia emitida do que absorvida (maior quantidade de calor retido) ou quando a emissão de radiação é maior que a absorção (menos calor retido).

A figura 5, abaixo, apresenta uma ilustração da interação dos gases de efeito estufa com a radiação solar que chega à atmosfera, sendo esses gases transparentes à radiação solar e opacos à radiação infravermelha emitida pela Terra. A figura foi elaborada pelos estudantes e julgamos conveniente utilizar aqui a produção dos próprios para essa representação.

Figura 5. Ilustração da ação dos gases de efeito estufa.



Fonte: Arquivo do autor (2024).

O cientista Jean Baptiste Fourier (1768 - 1830) é considerado um dos pioneiros a supor a existência desse escudo que impede a perda de toda energia emitida pelo planeta. A explicação para esse fenômeno era ainda desconhecida. Em 1824, Fourier deduziu a presença da atmosfera, embora esse termo ainda não fosse

utilizado. Ele considerava a atmosfera como um vidro de uma estufa que deixava passar os raios luminosos do Sol, mas retinha os raios emitidos pelo solo. Não explicou, porém, como esse escudo mantinha a Terra aquecida, garantindo um equilíbrio térmico (da SILVA, 2021, p. 28). Em 1856, a cientista americana Eunice Foote, por meio de experimentos, observou que o dióxido de carbono e o vapor de água têm a capacidade de absorver radiação (HOWLETT, 2024), tornando-se um dos marcos na explicação das mudanças climáticas relacionadas aos gases de efeito estufa, embora não se atribua a essa cientista tal feito. De acordo Alvim (2023), as observações da cientista foram apresentadas pela primeira vez em um congresso científico por outro cientista, Joseph Henry, pois “naquele tempo os homens eram muito mais privilegiados que as mulheres no campo da educação e da ciência.”

A partir dos experimentos, Foote observou que, ao aumentar o nível de concentração de dióxido de carbono em um recipiente, a temperatura do mesmo teve maior elevação em relação à temperatura de outro recipiente contendo ar comum. Com esse resultado ela tornou-se a primeira cientista a relatar a existência de gases de efeito estufa e sugeriu que “maiores quantidades de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera aumentariam a temperatura da Terra” (ORTIZ e JACKSON, 2023.) Três anos depois, o cientista John Tyndall (1822 - 1893) publicou as mesmas descobertas realizadas por Eunice Foote. De acordo Ortiz e Jackson, os artigos de Foote são fundamentais não somente para a compreensão da história e origens da ciência do clima, mas destacam as contribuições de uma mulher a esse campo da ciência.

No final do século XIX, os estudos do sueco Svante Arthenius indicaram que os níveis de dióxido de carbono e a temperatura aumentariam devido à queima de combustíveis fósseis. Em 1938, Guy Callender, ao analisar dados coletados em estações meteorológicas concluiu que a temperatura média da Terra obteve um aumento de 0,003 °C por ano durante o período de 1880 a 1938, devido à produção artificial do dióxido de carbono. No final do século XX, em 1978, James F. Black apresentou um memorando no qual relatava a respeito de como o clima global é influenciado pela queima de combustíveis fósseis e ponderou que a duplicação do dióxido de carbono poderia aumentar a temperatura média global em 2 a 3 graus Celsius em grande parte do planeta.

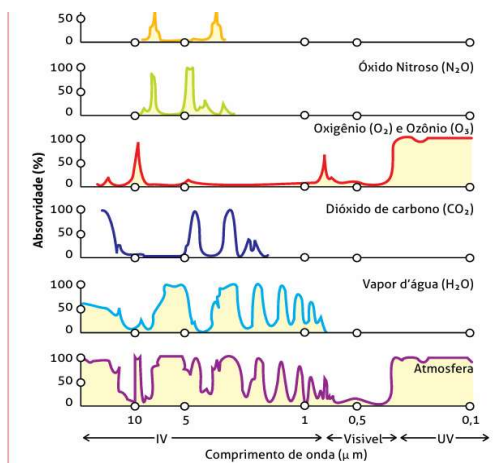
“... O que é considerado o melhor modelo climático atualmente disponível para tratar o Efeito Estufa prevê que a duplicação da concentração de CO_2 na atmosfera produziria um aumento médio de temperatura cerca de 2 °C a 3 °C na maior parte da Terra.” (James F.

Black, 1978. P. 1).

Conforme já citado, a Terra absorve a radiação proveniente do Sol na faixa da luz visível e depois reemite essa radiação em comprimento de ondas maiores, na faixa do infravermelho. Ao retornar para a atmosfera, essa energia reemitida interage com os gases de efeito estufa sendo capturada boa parte dela pelas moléculas desses gases e é reenviada de volta à superfície da Terra. Ao absorver radiação, as moléculas dos gases aumentam seu movimento molecular interno, ocasionando aumento de temperatura. Isso quer dizer que quanto maior a capacidade de absorção das moléculas, maior a quantidade de energia retida e maior a temperatura na atmosfera. Essa é uma característica dos GEE, em especial o CO_2 , o que o torna um gás preponderante no aquecimento do planeta.

Sendo esses gases capazes de absorver a radiação emitida pela Terra e manterem sua temperatura média cerca de 30 °C mais alta, é evidente que uma maior quantidade de GEE na atmosfera tem como consequência maior absorção de energia e, obviamente, maior quantidade de calor retido na atmosfera do planeta. A figura 6 a seguir mostra a capacidade de absorção da atmosfera e seus principais gases. Observa-se que o vapor d'água e o dióxido de carbono apresentam maior absorvidade de radiação.

Figura 6. Absortividade de alguns gases e da atmosfera



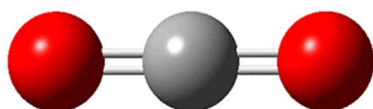
Fonte: Roberti (2013, p. 40)

Esta capacidade de absorver as ondas eletromagnéticas na faixa do infravermelho é mais acentuada ao dióxido de carbono. Esse fator não está associado ao volume desse gás na atmosfera, mas em sua composição química e a forma de interação entre seus átomos. O CO_2 é uma molécula triatômica (característica comum

aos GEE). Suas moléculas realizam movimentos rotacionais e vibracionais, sendo esses movimentos definidos por: um estiramento simétrico ν_1 ; dois de flexão degenerados, chamados de ν_2 ; e um modo de estiramento assimétrico (ν_3), sendo a frequência de vibração deste último fora da banda de absorção do infravermelho.

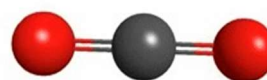
Segundo SHINE (2022), a absorção e emissão do infravermelho se devem às transições entre esses estados vibracionais. As frequências desses modelos de vibrações estão na mesma faixa de frequência do comprimento de onda do infravermelho, $4,2 \mu m$ e $15 \mu m$. O modelo ν_2 , por exemplo, (flexão angular) ocorre próximo ao pico da função de Planck (SHINE, 2022), o que torna o dióxido de carbono um potencial gás de efeito estufa, ou seja, a radiação infravermelha incidente na molécula de CO_2 apresenta energia semelhante à frequência do movimento de vibração da molécula de dióxido de carbono, favorecendo a absorção.

Gif 1. Vibração da molécula de CO_2



<https://gifer.com/pt/VGP>

Gif 2. Vibração da molécula de CO_2



<https://gifer.com/pt/Cj3>

Além do dióxido de carbono e os demais gases de estufa, o vapor d'água também se comporta como bom absorvedor de calor. Porém, por ser condensável, seu volume tem maior variação no decorrer do ano. Seu aumento está associado justamente à elevação da temperatura na superfície do planeta e nos oceanos. Obviamente, esse aumento de vapor de água na atmosfera ocasiona maior retenção da radiação, elevando as temperaturas ainda mais. No entanto, ao atingir o limite de saturação, ocorre a precipitação.

Diferentemente do vapor de água, o dióxido de carbono cada vez em maiores quantidades na atmosfera retém maior quantidade de energia, que retorna à superfície da Terra, elevando a quantidade de energia na baixa atmosfera, ampliando as médias de temperatura do planeta e intensificando o aquecimento global e, conseqüentemente, outros fenômenos climáticos extremos.

4.2 ALBEDO

Como uma ciência da natureza, a Física apresenta conceitos e estudos de fenômenos naturais que contribuem para o estudo do equilíbrio térmico planetário. Entre esses fenômenos, está relacionado o albedo do planeta.

De toda energia que chega até o planeta, parte dela é refletida de volta para o espaço antes de ser absorvida. Essa fração da energia refletida para o espaço caracteriza o albedo do planeta, ou seja, é a capacidade de refletir a energia incidente na sua superfície ou atmosfera planetária. A figura 7, a seguir, foi produzida pelos estudantes pós aplicação da UEPS. Mesmo sendo parte dos resultados obtidos em sala, consideramos importante utilizar a própria produção dos estudantes nessa seção, para ilustrar a ideia do albedo de um planeta. No caso da Terra, o planeta reflete cerca de 30% da luz proveniente do Sol e os fatores mais influentes no albedo são as nuvens, a vegetação, a neve, o gelo e o solo.

Figura 7. Representação do albedo planetário



Fonte: Arquivo do autor, 2024

O albedo tem papel determinante na temperatura. Seu aumento reflete maior quantidade de energia para o espaço e provoca redução da temperatura planetária. Quando contrário, menos albedo, mais energia é absorvida pela superfície e conseqüentemente será maior a temperatura. O albedo pode ser influenciado tanto por causas naturais quanto por ações antrópicas. Das causas naturais, podemos elencar o aumento e redução de nuvens, quantidade de partículas (aerossóis) lançadas por erupções vulcânicas, área superficial coberta por gelo, neve e vegetação. Quanto às causas antrópicas, é possível relatar o aumento do desmatamento que reduz a cobertura vegetal, o lançamento dos GEE que provocam

aumento da temperatura e, conseqüentemente, a redução das superfícies cobertas por gelo.

4.3 ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

No século XIX, por volta de 1865, estudando as equações para campos elétricos e magnéticos, James Clarck Maxwell demonstrou que campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo produzem ondas eletromagnéticas que se propagam no espaço com a mesma velocidade da luz. Maxwell mostrou que a velocidade das ondas eletromagnéticas no vácuo é dada por

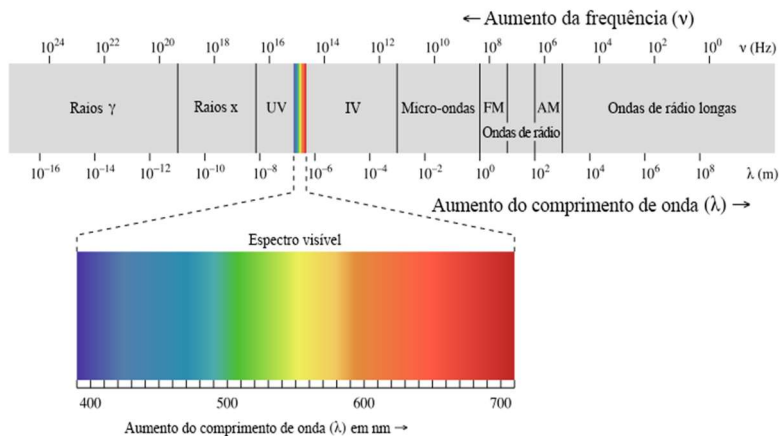
$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}, \quad (1)$$

onde ϵ_0 é a permissividade do meio e μ_0 é a permeabilidade. Ele concluiu que essas ondas tinham a mesma velocidade da luz, e que, portanto, a luz também é uma onda eletromagnética.

Durante a época que Maxwell vivia, as únicas radiações eletromagnéticas conhecidas, além da luz visível, eram o infravermelho e o ultravioleta. Atualmente, o espectro eletromagnético é composto por uma variedade de radiações, provenientes de diversas fontes. As principais fontes de ondas eletromagnéticas são a aceleração de cargas em um condutor, a radiação emitida por um corpo negro e as transições entre níveis de energia no átomo ou alterações em seu núcleo.

As ondas eletromagnéticas diferem entre si nas suas frequências e comprimento. Embora essas radiações apresentem diferentes propriedades ou formas de serem produzidas e observadas, elas mantêm algumas características comuns: todas podem ser descritas em termos de campos elétricos e magnéticos, todas se propagam no vácuo e todas mantêm a mesma velocidade de propagação. A classificação dessas ondas, baseada na frequência, constitui o espectro eletromagnético.

Figura 8. Espectro eletromagnético



Fonte: <https://pt.khanacademy.org/science/fisica-ensino-medio/x6443ccf4d35f6b36:ondas-eletromagneticas-e-comunicacao/x6443ccf4d35f6b36:luz-e-espectro-eletromagnetico/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>

Já foram detectadas ondas eletromagnéticas com frequências menores que 0,01 hertz (Hz). As ondas com frequência de milhões de hertz (MHz) encontram-se no meio da banda de rádio AM. A banda de frequência VHF, do inglês *Very High Frequencies* (frequências muito altas) como ondas de televisão por exemplo, iniciam a cerca de 50 MHz, e a de rádio FM vai de 88 a 108 MHz. As frequências ultra-altas, UHF, do inglês *Ultra High Frequencies*, estão na sequência, antecedendo as micro-ondas, além das quais estão as ondas de calor (infravermelha). Aumentando a frequência encontra-se, em seguida, a luz visível, que constitui uma parte muito pequena do espectro, variando da frequência da luz vermelha até o violeta. Frequências ainda mais altas que a da luz constituem o ultravioleta, os raios X e os raios gama, não havendo um limite bem definido entre essas regiões do espectro.

4.3.1 Luz visível

Localizada na região do espectro visível ao olho humano, é emitida pelo Sol e outras fontes terrestres. Possui comprimento de onda na faixa de 400 a 700 nm e frequência entre 430 e 750 terahertz (THz). A luz é geralmente emitida pela transição de elétrons de um nível mais alto de energia para outro mais baixo por meio da liberação de fótons de luz.

4.3.2 Infravermelho

Possui comprimento de onda maior que da luz, cerca de 0,7 μm a 1 mm e intervalo de frequências de aproximadamente 3×10^{12} a $4,3 \times 10^{14}$ hertz. Esse nome

deve-se ao fato de sua frequência ser um pouco abaixo da luz vermelha. É emitida por átomos ou moléculas quando realizam transições entre níveis rotacionais ou vibracionais. Essa mudança ocorre frequentemente como uma variação da energia interna do objeto emissor ou detector. Essa radiação é um meio importante de efetuar “troca” de calor. Por isso, pode referir-se ao infravermelho como radiação de calor. Essa radiação não é visível ao olho humano, mas pode ser sentida quando você se aproxima de uma fogueira ou ao colocar a mão próximo de uma lâmpada incandescente. Todos os objetos emitem radiação eletromagnética (radiação térmica) devido à sua temperatura. A maioria dessas radiações emitidas estão na região do infravermelho.

4.3.3 Micro-ondas

As micro-ondas podem ser consideradas como ondas curtas de rádio com comprimento de onda entre 1 mm e 1 m , cuja frequência varia, aproximadamente, de 3×10^9 até 3×10^{12} Hz. Podem ser produzidas por osciladores eletromagnéticos em circuitos elétricos (caso do forno de micro-ondas). São utilizadas na comunicação entre telefones, rádios de comunicação, radar e outros aparelhos.

4.3.4 Ondas de rádio

A região das ondas de rádio do espectro eletromagnético vai das ondas mais longas, cujo comprimento de onda é maior que o raio da Terra, até ondas com um comprimento de onda de um metro. As frequências correspondentes, que vão desde alguns quilohertz, 3 KHz, até a ordem de 3 GHz, aproximadamente, possuindo o maior intervalo de frequência do espectro eletromagnético. Essas frequências são os números que aparecem nos mostradores dos aparelhos de rádio.

As ondas de rádio têm comprimentos de onda maiores que 1 m e são produzidas a partir de oscilações de elétrons em fios de circuitos elétricos. Sua distribuição espacial pode ser controlada quando a fonte (antena por exemplo) estiver ligada a um receptor. Existem várias subdivisões das ondas de rádio como AM e FM, que representam formas diferentes de se enviar o sinal. Todas, porém, podem se propagar a grandes distâncias na atmosfera, sendo por isso usadas em sistemas de comunicação como na transmissão de sinais de rádio e TV.

O movimento oscilatório dos elétrons em uma antena de metal pode gerar uma onda de rádio do tipo usada em telecomunicações. A aceleração dos elétrons

produz ondas eletromagnéticas do mesmo modo que jogar uma pedra em um lago produz ondulações. Quando estas ondas encontram um outro objeto metálico (a antena receptora de um rádio, por exemplo), o campo elétrico da onda faz os elétrons do objeto oscilarem. O movimento dos elétrons constitui uma corrente elétrica que os circuitos eletrônicos de um receptor de rádio ou um simples rádio de Galena podem transformar em um sinal de rádio. Este sinal, por sua vez, produz uma onda sonora ao ser usado um alto-falante.

4.3.5 Ultravioleta

Tem comprimentos de onda menores que a luz, entre 1 nm e 400 nm e podem ser produzidas em transições de elétrons nas camadas mais externas dos átomos, sendo as fontes térmicas como o Sol o principal mecanismo de produção. Tem frequência acima do intervalo da luz entre $7,5 \cdot 10^{14}$ a $3 \cdot 10^{17}$ hertz. Como nossa atmosfera absorve grandemente comprimentos de onda nessa faixa, a maioria dessa radiação não atinge a superfície terrestre. A exposição a essa radiação pode provocar queimaduras e outras consequências graves, como o câncer de pele.

4.3.6 Raio X

Possuem comprimentos de onda entre $0,01\text{ nm}$ e 10 nm e frequências elevadas, entre 3×10^{17} a 3×10^{19} Hz. Podem ser produzidos em transições individuais dos elétrons nos níveis mais internos de um átomo quando partículas carregadas (como os próprios elétrons) são desaceleradas. Eles podem atravessar tecidos menos densos, mas são barrados pelos mais densos, como o tecido ósseo, por exemplo, por isso são úteis em procedimentos médicos.

4.3.7 Raios gama

São as radiações eletromagnéticas com os menores comprimentos de onda, abaixo de 10 pm , e são as mais penetrantes, com frequência acima de 3×10^{19} hertz. Assim como os raios X, também são cancerígenos e ainda são capazes de provocar alterações genéticas que podem ser transmitidas aos descendentes da pessoa afetada. Essa radiação pode ser emitida em transições entre estados de núcleos atômicos ou devido ao decaimento radioativo de certas partículas elementares.

A frequência de uma onda eletromagnética no espaço é idêntica à frequência da carga elétrica oscilante que a gerou. Diferentes comprimentos de onda

correspondem a frequências diferentes, de forma que, ondas de curto comprimento possuem alta frequência, e ondas de longos comprimentos possuem baixa frequência. A velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas está associada com sua frequência e comprimento de modo que temos

$$c = \lambda \nu \quad (2)$$

em que c é a velocidade da luz no vácuo;

ν é a frequência da onda;

λ é o comprimento de onda.

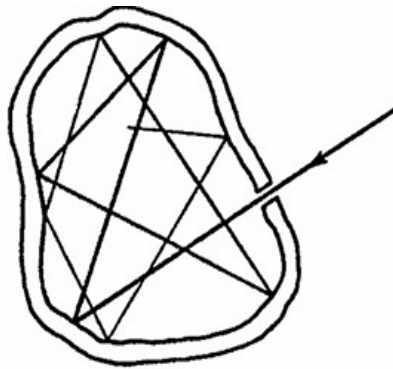
4.4 CORPO NEGRO

Entre os problemas da Física que contribuíram para o surgimento da Física Moderna está a explicação para o espectro de radiação de um corpo. De modo geral, os corpos emitem constantemente ondas eletromagnéticas, cujas intensidades e frequências dependem de suas temperaturas. Era preciso justificar a relação entre o aquecimento de determinados corpos e a emissão de radiação de variadas frequências. Em dezembro de 1900, na Alemanha, Max Planck apresentou uma teoria acerca da distribuição de energia do espectro normal, abrindo caminho para o início da teoria quântica.

Todo corpo cuja temperatura absoluta é maior que zero Kelvin emite radiação. Um corpo com capacidade de absorver e também emitir o máximo de radiação incidente é denominado **corpo negro**. Todos esses corpos, a uma mesma temperatura, emitem o mesmo espectro de radiação.

Uma ilustração da ideia de um corpo negro (figura 9) é se considerarmos uma esfera oca, cujas paredes são opacas à radiação eletromagnética. Os átomos das paredes da esfera emitem radiação para seu interior e ao mesmo tempo absorvem a radiação emitida pelos demais átomos. Quando a radiação no interior da cavidade da esfera atinge o equilíbrio térmico, ou seja, a radiação emitida é igual à radiação absorvida, a densidade de energia, que é a quantidade de energia dentro da cavidade por unidade de volume, é constante. Essa quantidade de radiação é bem definida. Ao abrir um pequeno orifício na parede da esfera, a radiação que escapa por esse orifício tem a mesma distribuição espectral da radiação no interior da esfera. Essa radiação é definida como radiação de corpo negro.

Figura 9. Cavidade de um corpo negro



Fonte: Eisberg e Resnick (1979, p.22).

4.4.1 RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO

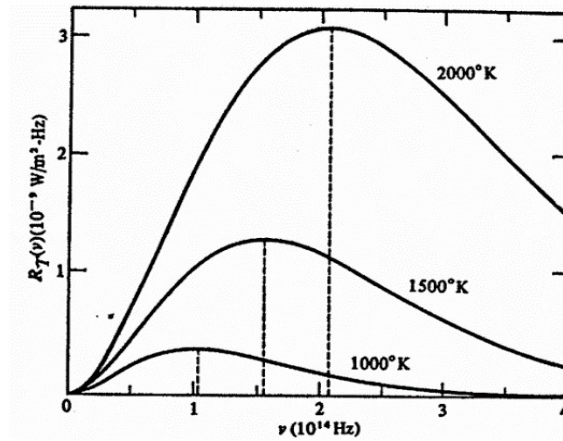
Conforme já mencionado, cada corpo a uma temperatura Kelvin maior que zero emite radiação térmica para o meio ao seu redor e dele absorve radiação até que as taxas de emissão e absorção se equilibram. Esse poder de emissão não depende da composição do corpo, mas da temperatura a que ele é submetido.

Os olhos humanos são insensíveis às radiações eletromagnéticas, exceto a luz. Desta forma, não somos capazes de detectar toda radiação emitida pelos corpos, pois grande parte dessa radiação se encontra na faixa do infravermelho, não visível aos humanos. Em altas temperaturas, os corpos adquirem luminosidade própria. Um objeto de metal, por exemplo, em temperatura mais baixa irradia energia, mas essa radiação não é capaz de sensibilizar os olhos humanos. Ao ser aquecido, a quantidade de energia emitida aumenta com o aumento da temperatura, atingindo frequências de radiações visíveis, emitidas na faixa que corresponde à cor vermelha, aparecendo inicialmente a cor vermelho-escura, depois um vermelho mais intenso. À medida que a temperatura aumenta, são emitidas radiações nas cores laranja, amarela, azul, e, por último, branca.

A distribuição espectral da radiação de corpo negro é caracterizada pela radiância espectral $R_T(\nu)$, de modo que sua variação $R_T(\nu)d\nu$ seja igual a energia emitida por unidade de tempo em radiação com frequência entre $(\nu, \nu + d\nu)$ por unidade de área, a uma temperatura T.

A figura 10, a seguir, apresenta a radiância espectral de um corpo negro em função da frequência para diferentes temperaturas.

Figura 10. Radiância espectral de corpo negro



Radiância espectral de um corpo negro em função da frequência da radiação para temperaturas de 1000° K, 1500° K e 2000° K.

Fonte: Eisberg e Resnick (1979, p. 21)

A partir de interpretações da figura 10 acima, é possível inferir que a radiação espectral para um corpo negro a uma temperatura em torno de 1000° K apresenta pouca potência irradiada devido à baixa frequência ν . A potência irradiada cresce rapidamente à medida que ν cresce, mesmo para pequenos valores de $d\nu$. Essa potência é mais intensa quando a frequência ν está próxima de $1,1 \times 10^{14} \text{ Hz}$ e cai de forma contínua, tendendo a zero, à medida que ν tende a infinito.

Para as temperaturas de 1500° K e 2000° K, a frequência ν para a potência máxima irradiada cresce exponencialmente conforme a temperatura aumenta. Desta forma, percebe-se que a intensidade da potência irradiada é função da temperatura em que o corpo negro se encontra e a frequência correspondente a essa temperatura.

A potência total irradiada em função da temperatura T é determinada pela integral $\int_0^{\infty} R_T(\nu) d\nu$.

Como $R_T(\nu) d\nu$ é a potência irradiada dentro de um intervalo de frequência ν a $\nu + d\nu$, temos que a radiância espectral por unidade de tempo por unidade de área para um corpo negro a uma temperatura T é:

$$R_T = \int_0^{\infty} R_T(\nu) d\nu. \quad (3)$$

Como já observado, a potência de radiação cresce exponencialmente com o aumento da temperatura. Os físicos Josef Stefan (1835 - 1839) e Ludwig Eduard Boltzmann (1844 - 1906) deduziram essa relação, sendo a potência radiada

$$R_T = \sigma T^4, \quad (4)$$

conhecida como lei de Stefan-Boltzmann, onde $\sigma \cong 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ é a

constante de Stefan-Boltzmann e T é a temperatura absoluta. Considerando a área da superfície emissora e a emissividade do corpo negro, a lei de Stefan-Boltzmann (eq. 4) fica

$$R_T = \varepsilon A \sigma T^4 \quad (5)$$

em que A é a área da superfície e ε é a emissividade do corpo negro, com $0 < \varepsilon < 1$.

A quantidade de energia máxima emitida por um corpo negro de acordo sua temperatura possui um comprimento de onda bem definido associado a essa temperatura, conhecido como comprimento de onda da energia máxima, ou comprimento de onda máximo. Esse comprimento de onda é inverso à temperatura atingida pelo corpo e é determinado pela lei de Wien, ou lei do deslocamento de Wien:

$$\lambda_{max} = \alpha \frac{1}{T} \quad (6)$$

sendo:

λ_{max} o comprimento de onda;

T a temperatura;

$\alpha = 2,9 \cdot 10^{-3} km$, a constante de deslocamento de Wien.

Tanto a lei de Wien quanto a lei de Stefan-Boltzmann são casos particulares da lei de radiação de Planck que falaremos na próxima seção.

4.4.2 LEI DE RADIAÇÃO DE PLANCK

No início do século XX, os cientistas Lord Rayleigh e James Jeans determinaram o cálculo da densidade de energia da radiação de corpo negro. Na teoria clássica, a energia média depende apenas da temperatura. O prognóstico vem da teoria cinética clássica, teoria da equipartição de energia, a qual afirma que a energia cinética média das moléculas é

$$\bar{E} = \frac{1}{2} KT \quad (7)$$

onde T é a temperatura absoluta e $K = 1,38 \times 10^{-23} J/K$, é a constante de Boltzmann.

Para o caso de ondas eletromagnéticas estacionárias, cada onda tem uma energia total duas vezes a sua energia cinética média. Desta forma, a energia média total fica

$$\bar{E} = KT \quad (8)$$

A energia por unidade de volume dentro de um intervalo ν a $\nu + d\nu$ do espectro de cavidade de corpo negro a uma temperatura T, é determinada pelo produto da energia média por onda estacionária vezes o número de ondas no intervalo em relação

ao volume dessa cavidade. Sendo assim, tem-se:

$$P_T(\nu)d\nu = \frac{N(\nu)d\nu}{V} \bar{E} \quad (9)$$

mas

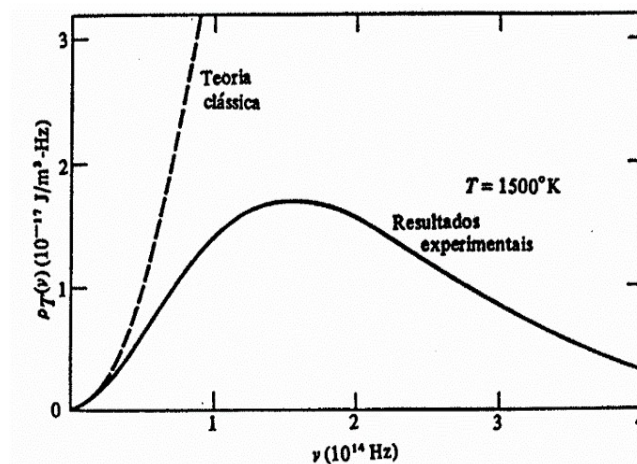
$$\frac{N(\nu)d\nu}{V} \bar{E} = \frac{8\pi\nu^2KT}{c^3} d\nu \quad (10)$$

substituindo a equação 10 na equação 9, temos

$$P_T(\nu)d\nu = \frac{8\pi\nu^2KT}{c^3} d\nu \quad (11)$$

A equação (11) é denominada lei de Rayleigh-Jeans para a radiação de corpo negro na teoria clássica. No entanto, a teoria clássica para o espectro de radiação não validava os resultados obtidos em experimentos na região do ultravioleta, pois de acordo essa lei, para valores de $\lambda \rightarrow 0$ a energia tende a infinito, enquanto que os experimentos indicavam que a energia tendia a zero quando $\lambda \rightarrow 0$.

Figura 11. Lei de Rayleigh-Jeans X Experimentos



Previsão de Rayleigh-Jeans em comparação com os resultados experimentais.

Fonte: Eisberg e Resnick (1979, p. 32).

Para resolver a discrepância entre a teoria e os resultados dos experimentos, Max Planck supôs que a energia média tende a zero quando $\nu \rightarrow \infty$, ou seja, $\bar{E}_{\nu \rightarrow \infty} \rightarrow 0$ e $\bar{E}_{\nu \rightarrow 0} \rightarrow KT$. Neste caso, a energia de radiação de corpo negro é função da frequência e da temperatura. Planck sugeriu que a energia devia se comportar em valores discretos (inteiros) distribuída uniformemente, da forma

$$E = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (12)$$

A partir das descobertas de Planck, obteve-se como resultado que a variação da energia, ΔE , é proporcional à frequência ν , sendo descrita matematicamente por

$$\Delta E = h\nu \quad (13)$$

em que $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ é a constante de proporcionalidade de Planck. Assim,

$$E = 0, h\nu, 2h\nu, 3h\nu, \dots \quad (14)$$

ou seja,

$$E = n h \bar{\nu} \quad (15)$$

onde n são os níveis de energia.

Partindo da função de distribuição de Boltzmann $\bar{E} = \frac{\int_0^\infty E \rho(E) dE}{\int_0^\infty \rho(E) dE}$, substituindo

$E = n h \bar{\nu}$ e tomando $\rho(E) = \frac{e^{-E/KT}}{KT}$, tem-se

$$\bar{E} = \frac{\int_0^\infty \frac{n h \bar{\nu}}{KT} e^{-n h \bar{\nu}/KT}}{\int_0^\infty \frac{1}{KT} e^{-n h \bar{\nu}/KT}} \quad (16)$$

desta forma, tem-se a energia média

$$\bar{E} = \frac{h\nu}{e^{h\nu/KT} - 1} \quad (17)$$

que é a lei para a energia média de uma onda estacionária eletromagnética em função da frequência e temperatura.

Multiplicando a equação (17) por $N(\nu) d\nu$, que é o número de frequência em um intervalo ν a $\nu + d\nu$, tem-se

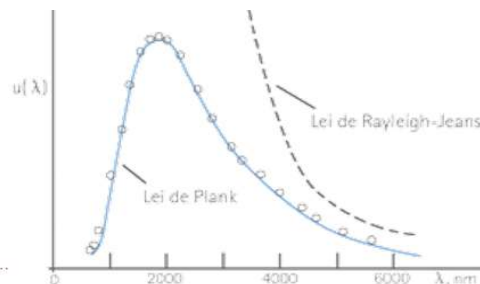
$$\bar{E} = \frac{h\nu}{e^{h\nu/KT} - 1} N(\nu) d\nu \quad (18)$$

como $N(\nu) d\nu = \frac{8\pi V \nu^2}{c^3} d\nu$, a equação (18) fica $\bar{E} = \frac{h\nu}{e^{h\nu/KT} - 1} \frac{8\pi V \nu^2}{c^3} d\nu$, resolvendo esta expressão, obtemos a lei de Planck para o espectro de corpo negro:

$$P_T(\nu) d\nu = \frac{8\pi \nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{h\nu/KT} - 1} \quad (19)$$

Observe na figura 12, os resultados da lei de Planck em comparação com a lei de Rayleigh-Jeans.

Figura 12. Lei de Planck X Lei de Rayleigh-Jeans



Comparação dos resultados da lei de Planck em relação a lei de Rayleigh-jeans.
Fonte: Junior (2012, p. 12).

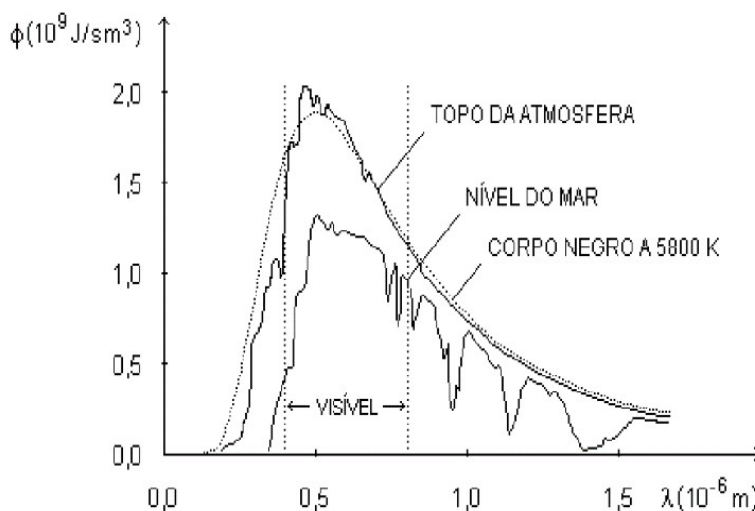
De acordo a figura 12 acima, os resultados da lei de Planck estão em conformidade com os resultados experimentais expressos na figura 9, solucionando, a partir dessa lei, o problema do espectro da radiação de corpo negro.

4.4.3 ESPECTRO DE RADIAÇÃO DA TERRA

O conceito fundamental é o de energia. Se mais energia/calor entra em um sistema do que sai, o sistema se aquece. Do contrário, o sistema esfria. No caso de um planeta, o seu balanço de energia depende: da quantidade de energia que chega do Sol, da quantidade de energia refletida para o espaço (Albedo), da fração de energia absorvida e da composição química da fina camada da atmosfera.

O Sol é a principal fonte de energia que atinge a Terra. A radiação emitida pelo Sol que atravessa o espaço e chega até à superfície terrestre é proveniente da fotosfera, camada solar cuja temperatura é de 5800 K. O espectro dessa radiação no topo da atmosfera e ao nível do mar tem comportamento próximo do espectro de um corpo negro a essa temperatura, conforme figura 13 abaixo.

Figura 13. Espectro de radiação ao nível do mar, topo da atmosfera e corpo negro.



Fonte: Palandi, Figueiredo, Denardin e Magnago (2010, p. 9).

Essa energia solar que alcança a superfície da Terra é composta pelas radiações na faixa do visível. Parte dessa radiação é absorvida e outra parte é refletida para o espaço. Após absorver essa porção de energia, a Terra reemite de volta para a sua atmosfera em maiores comprimentos de onda, na faixa do infravermelho. A radiação reemitida interage com os GEE, sendo boa parte retida por esses gases e reenviada novamente para a superfície terrestre. Do que foi exposto até aqui, a seguir vamos propor um modelo simplificado em que a Terra interage com o Sol e determinar,

através dele, a temperatura do planeta Terra.

Considerando uma estrela (o Sol, no nosso caso) que, num dado intervalo de tempo Δt emite uma quantidade de energia E , a potência associada a essa energia é,

$$P = \frac{E}{\Delta t}. \quad (20)$$

Como a energia se conserva, a quantidade de energia que chega na órbita de cada planeta é a mesma, só que distribuída em uma área muito maior (a área de uma superfície esférica de raio igual à distância do Sol à Terra). Essa área é

$$A = 4\pi R^2, \quad (21)$$

onde R é o raio da esfera.

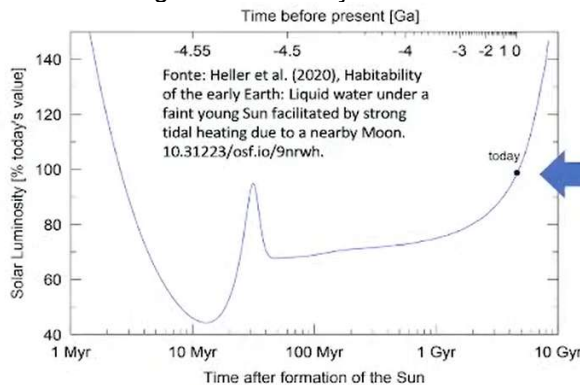
A energia por unidade de tempo e por unidade de área (ou potência por unidade de área) que incide sobre um determinado ponto do espaço proveniente da estrela (na forma de radiação eletromagnética) é definida como irradiância. Naturalmente, por conta dessa definição, a irradiância (I_S) é medida em Watts por metro quadrado, ou seja, em W/m^2 . A uma distância R da estrela, a Irradiância Solar é dada por

$$I_S = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi R^2}. \quad (22)$$

A distância R oscila entre 147 milhões de quilômetros, no periélio, e 152 milhões de quilômetros, no afélio. Mas a média anual é quase constante em torno de 150 milhões de quilômetros, mesmo ao longo de bilhões de anos.

No que diz respeito à variação da intensidade de energia emitida pelo Sol ao longo do tempo, ou seja, levando em conta a variação da atividade solar ao longo do tempo, levou 4 bilhões de anos para aumentar a atividade solar em 30%, conforme podemos observar na figura 14 abaixo.

Figura 14 - Evolução da luminosidade solar calculada a partir do modelo citado.



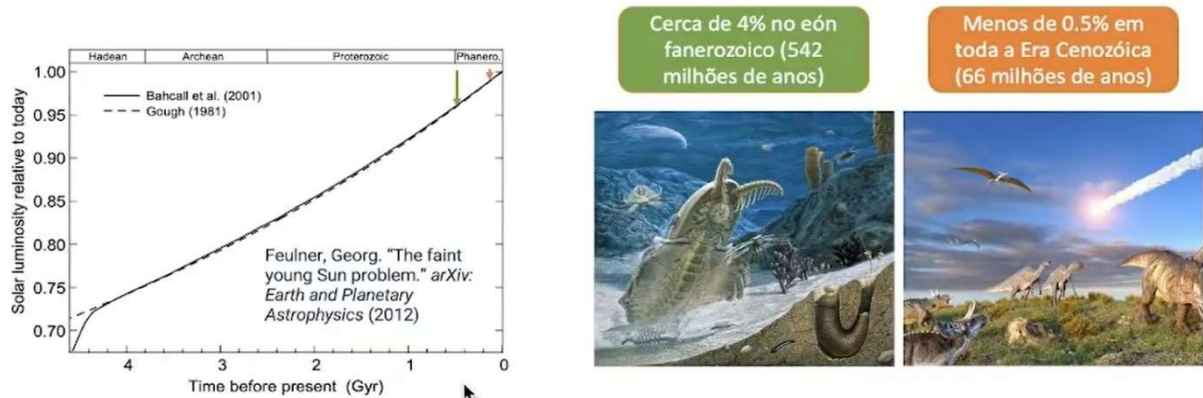
Levou 4 bilhões de anos para aumentar 30% (0,0075% a cada milhão de anos)

Fonte: Aula 02 - Física do Clima - <https://www.youtube.com/watch?v=rawGYOHijIM&t=4034s>.

Esse aumento de atividade solar em 30% em quatro bilhões de anos, apesar

de parecer muito grande, é muito pequena na escala de tempo que nos interessa, cerca de 0,0075% a cada milhão de anos. Na figura 15 abaixo observamos que as mudanças, mesmo para eras geológicas, com escala de milhões de anos, são pequenas.

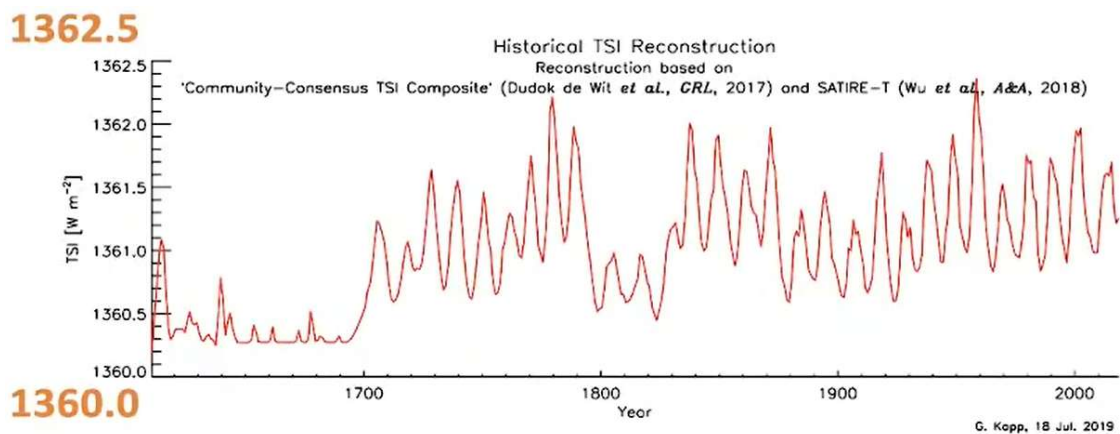
Figura 15 - Evolução da luminosidade solar para quatro eras geológicas.



Fonte: Aula 02 - Física do Clima - <https://www.youtube.com/watch?v=rawGYOHljiM&t=4034s>.

O ciclo solar, também conhecido como ciclo de atividade magnética solar, ciclo de manchas solares ou ciclo de Schwabe, é uma mudança quase periódica de 11 anos na atividade do Sol. Ela é medida em termos de variações no número de manchas solares observadas na superfície do Sol. Durante o período de um ciclo solar, os níveis de radiação solar e ejeção de material solar, o número e o tamanho das manchas solares, as erupções solares e os loops coronais exibem uma flutuação sincronizada de um período de atividade mínima para um período de atividade máxima de volta a um período de atividade mínima. Apesar da irradiância solar variar em ciclos de 11 anos, vide figura 16 abaixo, essa variação entre 1362,0 W/m² à 1362,5 W/m² se afasta muito pouco da média ao longo do tempo de $I_s = 1362,0 \text{ W/m}^2$, denominada constante solar.

Figura 16 - Ciclo solar com a consequente variação da irradiância solar I .



Fonte: Aula 02 - Física do Clima - <https://www.youtube.com/watch?v=rawGYOHljiM&t=4034s>.

Definimos a constante solar I_S como a quantidade de energia por unidade de área e por unidade de tempo que chega ao topo da atmosfera da Terra num ponto voltado diretamente para o Sol.

Esse valor médio para constante solar pode ser estimado a partir da lei de Stefan-Boltzmann

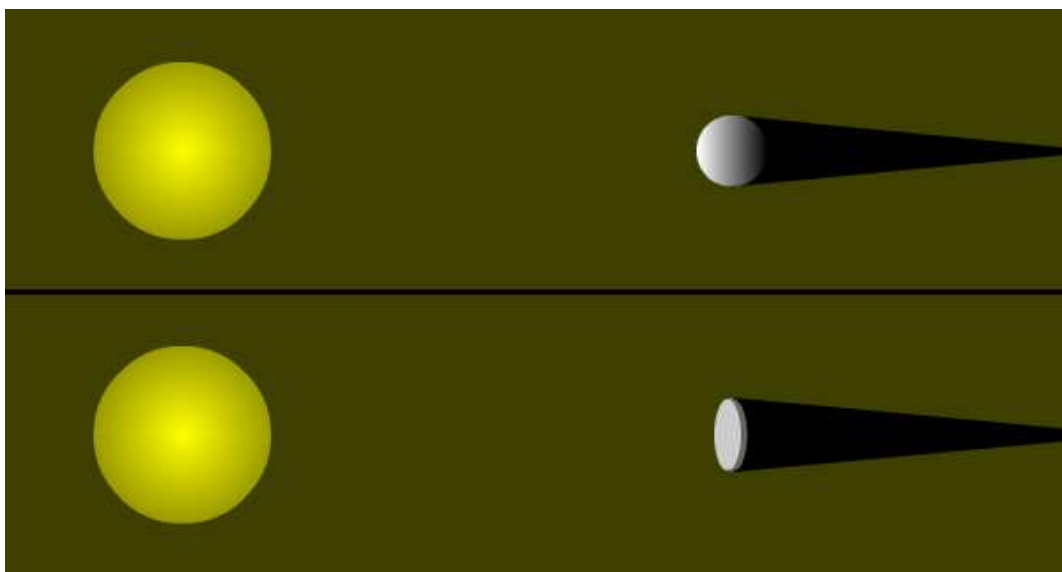
$$I_S = \frac{P}{A} = \frac{\sigma T^4 4\pi R_{Sol}^2}{4\pi R^2} = \frac{\sigma T^4 R_{Sol}^2}{R^2}. \quad (23)$$

Substituindo os valores da constante de Stefan-Boltzmann $\sigma \cong 5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$, da temperatura absoluta do Sol $T = 5778 K$, do raio do Sol $R_{Sol} = 6,96 \times 10^8 m$ e da distância orbital média da Terra $R = 1,5 \times 10^{11} m$, obtemos o valor estimado para constante solar $I_S = 1360,59 W/m^2$. Observe que, apesar de os cálculos usados na estimativa terem sido bem simplificados, obtemos um valor para constante solar bem próximo do valor médio medidos.

Para termos noção da importância da atmosfera da Terra para o clima, vamos primeiro calcular a temperatura média que o planeta teria se ela não existisse. Por conta do formato praticamente esférico dos planetas em geral (incluindo a Terra em particular), a radiação eletromagnética proveniente da estrela em torno da qual eles giram chega em vários ângulos, desde uma incidência perpendicular a uma incidência tangencial.

Os raios solares, por conta da grande distância, atingem o planeta paralelamente e a energia que a Terra recebe é a mesma que seria interceptada por um disco de mesmo raio, vide figura 17 abaixo.

Figura 17 – A energia que a Terra recebe é a mesma que a recebida por um disco.



Fonte: <https://scied.ucar.edu/earth-system/planetary-energy-balance-temperature-calculate>.

Se a energia dessa radiação, por unidade de área e de tempo, que incide perpendicularmente no topo da atmosfera é I_S , a potência que chega é

$$P = \pi R_{Terra}^2 I_S, \quad (24)$$

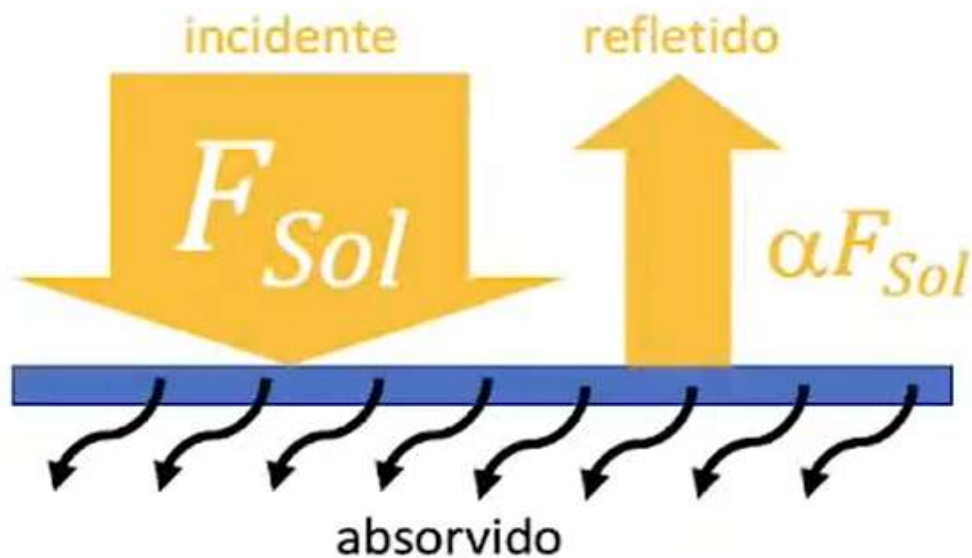
essa potência deve se distribuir em toda área do planeta Terra

$$F_{Sol} = \frac{P \pi R_{Terra}^2 I_S}{4\pi R_{Terra}^2} = \frac{I_S}{4}, \quad (25)$$

onde F_{Sol} é a taxa média de energia que chega no topo da atmosfera terrestre proveniente do Sol.

Já vimos que, de toda energia que chega até o planeta, parte é refletida de volta para o espaço antes de ser absorvida. Essa fração da energia refletida para o espaço caracteriza o albedo do planeta α , ou seja, é a capacidade de refletir a energia incidente na sua superfície ou atmosfera planetária, vide figura 18 abaixo. No caso da Terra, o planeta reflete cerca de 30% da luz proveniente do Sol e os fatores mais influentes no albedo são as nuvens, vegetação, neve, gelo e o solo.

Figura 18 – Representação do albedo.



Fonte: Aula 02 - Física do Clima - <https://www.youtube.com/watch?v=rawGYOHijIM&t=4034s>.

Essa fração refletida deve ser descartada

$$F_{entrada} = F_{Sol} - \alpha F_{Sol} = (1 - \alpha) \frac{I_S}{4}, \quad (26)$$

Se desconsiderarmos a influência da atmosfera, o fluxo de saída de energia do planeta seria igual ao fluxo de saída da radiação térmica emitida pela superfície. Neste caso, o fluxo de saída de energia é simplesmente a radiação de corpo negro, que obedece à lei de Stefan-Boltzmann

$$F_{saída} = \sigma T^4, \quad (27)$$

onde $\sigma \cong 5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$ é a constante de Stefan-Boltzmann e T é a temperatura absoluta.

No equilíbrio, a taxa de energia de entrada, $F_{entrada} = (1 - \alpha) \frac{I_S}{4}$, é igual à taxa de energia saída por irradiação da Terra na faixa do infravermelho $F_{saída} = \sigma T^4$. Igualando o fluxo de entrada ao de saída, obtemos

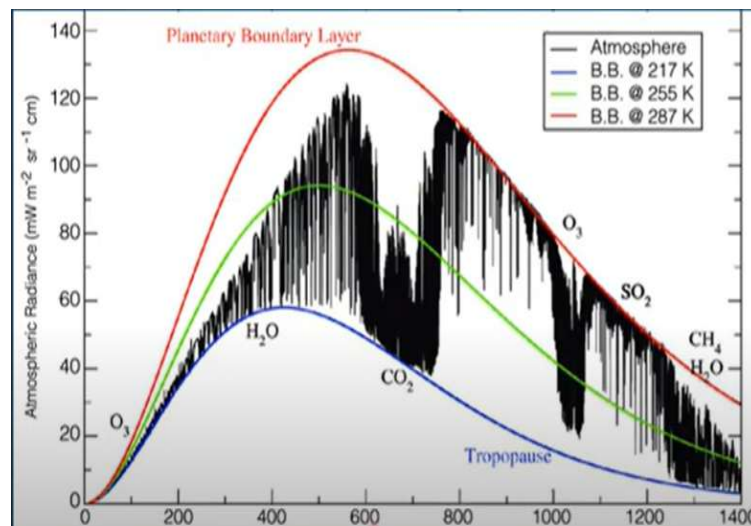
$$(1 - \alpha) \frac{I_S}{4} = \sigma T^4. \quad (28)$$

A temperatura da Terra é

$$T = \sqrt[4]{\frac{I_S(1-\alpha)}{4\sigma}}. \quad (29)$$

A temperatura média da Terra, calculada a partir da equação 29, substituindo os valores $\sigma \cong 5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$, $I_S = 1362 W/m^2$ e $\alpha = 0,30$ é de aproximadamente $254 K$ ou $-19^\circ C$, uma temperatura muito baixa para a Terra. Não levamos em consideração, nesse modelo, que alguns gases interagem com o infravermelho, absorvendo parte dessa radiação e diminuindo o fluxo de saída de energia, ou seja, o espectro de radiação a essa temperatura se assemelha ao espectro de radiação de um corpo negro à mesma temperatura, mas com faixa de absorção, conforme figura 19 abaixo.

Figura 19 - Espectro de radiação da Terra



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=foe6SxJ-6Z0&t=880s>

Analisando a figura, podemos perceber que o espectro de radiação da Terra apresenta pontos de depressão na faixa de absorção dos gases de efeito estufa, em especial na faixa do CO_2 , indicando que a energia emitida pelo planeta nessa faixa é

absorvida por esses gases. Comparando os gráficos da figura 19, é possível observar que o espectro de radiação da Terra (gráfico preto) tem o comportamento muito próximo do espectro de corpo negro (linha vermelha).

5.0 PROCEDIMENTOS DIDÁTICO-METODOLÓGICOS

O desenvolvimento deste trabalho teve como estratégias didáticas a utilização de conceitos da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e aprendizagem significativa crítica de Moreira. Para tal propósito, foi construída e implementada uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), explorando diferentes recursos, como textos didáticos, simulações virtuais, questionários e construção de mapas conceituais, galgando evidências de aprendizagem significativa.

A pesquisa foi desenvolvida em uma escola da rede estadual, localizada na cidade de Maetinga, Bahia, em uma turma de 3º ano do Ensino Médio, durante os meses de julho a setembro de 2024. A pesquisa tem caráter qualitativo do tipo investigativa, cujo interesse central, de acordo Moreira (2009), está na interpretação dos significados atribuídos pelos sujeitos perante suas ações em uma realidade. Não tem como objetivo a representação numérica, mas a observação do ambiente de estudo, no qual o investigador deve descrever, de forma detalhada, tudo que acontece para a realização de uma narrativa e descrição dos dados obtidos.

A pesquisa é investigativa, pois o pesquisador está inserido e participa ativamente do processo de análise dos dados obtidos em sala de aula, para justificar e garantir a credibilidade do modelo implantado durante o processo e dos resultados alcançados.

5.1 UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA – UEPS

A teoria da Aprendizagem Significativa tem seu marco teórico em uma diversidade de teorias. Ela se estrutura nas concepções de David Ausubel (1968, 2000), nas visões clássicas e contemporâneas de Moreira (2000, 2005, 2006); Moreira e Masini (1982, 2006); Masini e Moreira (2008); Valadares e Moreira (2009); as teorias da educação de Novak (1977) e Gowin (1981); na teoria interacionista de Lev Vygotsky (1987); na teoria dos campos conceituais de Vergnaud (1990) e Moreira (2004); na teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983); e na teoria da aprendizagem significativa crítica de Moreira (2005).

Para facilitar a construção dessa aprendizagem significativa, Moreira (2012) propõe a construção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, que são sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, capazes de estimular a pesquisa em ensino destinada à prática docente.

Desta maneira, as UEPS são práticas de ensino adotadas por docentes, tendo como objetivo desenvolver uma aprendizagem significativa de conteúdos (tópicos) específicos, pois não há ensino sem aprendizagem. O ensino é o meio e a aprendizagem é o fim, e esta deve acontecer de forma significativa.

A elaboração de uma UEPS, conforme Moreira (2012), considerará os seguintes princípios:

- o conhecimento prévio é a variável que mais importa na aprendizagem significativa;
- pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende; essa integração é positiva, construtiva quando a aprendizagem é significativa;
- é o aluno que decide se quer aprender significativamente;
- organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios;
- são as situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos; elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para a aprendizagem significativa;
- situações-problema podem funcionar como organizadores prévios;
- as situações-problema devem ser propostas em nível crescente de complexidade;
- frente uma nova situação, o primeiro passo para resolvê-la é construir, na memória de trabalho, um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação;
- a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino;
- a avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva;
- o papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados de parte do aluno;
- a interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados;
- um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino;
- essa relação poderá ser quadrática na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo, ou seja, na medida em que for também mediador da aprendizagem;
- a aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica;
- a aprendizagem significativa crítica deve ser estimulada pela busca de respostas (questionamento) ao invés da memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno.

Por se tratar de uma sequência de ensino, a estruturação de uma UEPS segue alguns passos, também definidos por Moreira (2012), como aspectos sequenciais. Essa estrutura está organizada nos seguintes passos:

- I - definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
- II - criar/propor situação(ões) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;
- III - propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento que se pretende ensinar;
- IV - uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão geral do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de uma atividade colaborativa;
- V- em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.) porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em nível crescente de complexidade; dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados;
- VI - concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva, retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um audiovisual, etc.;
- VII - a avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita a longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso deve haver uma avaliação somativa individual, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência;
- VIII – a UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema).

Para cada passo da UEPS, Moreira sugere a diversificação dos materiais e estratégias de ensino, priorizando o questionamento em relação às respostas prontas, estimulando o diálogo e a crítica. Sob essa ótica, pode-se propor aos estudantes, como tarefa de aprendizagem, a elaboração de situações-problema relacionadas ao conteúdo de ensino, com a orientação do professor, prevalecendo as atividades colaborativas e reservando durante essas atividades pelo menos um momento de

atividade individual.

5.2 SIMULADORES VIRTUAIS

Os simuladores virtuais constituem um forte aliado dos professores de ciências por disporem de uma variedade de simulações que proporcionam alinhar teoria e prática e representar fenômenos físicos que são mais complexos de realizar fisicamente em laboratórios. Os estudantes aprendem mais significativamente quando participam ativamente do processo de construção e elaboração do conhecimento (Martins, Serrão, Silva e Reis, 2020). Em um momento dominante da tecnologia na realidade dos aprendizes, ela se torna indispensável no contexto educacional, pois possibilita maior interação dos estudantes nesse processo de aprendizagem e enseja o uso dessa ferramenta de forma mais positiva.

O uso de simuladores virtuais como método de ensino (Peixoto e Rodrigues, 2024) tem boa aceitação, uma vez que são opções atrativas para contextualizar e complementar o conteúdo ministrado em sala de aula. Os autores salientam que a mediação do conteúdo por meio dessa ferramenta didática aproxima o estudo da realidade e melhora o entendimento da Física.

Diante do apresentado acima, o simulador *PhET*, criado em 2002 pela Universidade do Colorado, foi uma das estratégias utilizadas durante a implementação da UEPS, a fim de facilitar a aprendizagem e entendimento do conteúdo mais significativamente. O simulador dispõe de diversas simulações interativas e gratuitas nas áreas de Matemática e Ciências da Natureza, proporcionando:

- a investigação científica;
- a interatividade;
- tornar visível o invisível;
- mostrar modelos mentais visuais;
- fazer várias representações;
- fazer conexões com o mundo real;
- criar simulações que possam ser flexivelmente usadas em muitas situações educacionais.

(https://phet.colorado.edu/pt_BR/about. Acesso em 19 de dez. de 2024).

Desta forma, além de outros recursos e estratégias, a implementação da UEPS explorou as simulações virtuais, a fim de aproximar teoria e prática, representando de maneira mais clara e eficiente fenômenos da Física atinentes ao clima e suas mudanças.

5.3 MAPAS CONCEITUAIS

Os mapas conceituais podem ser utilizados como uma estratégia de ensino/aprendizagem, como recurso para análise de conteúdo, como uma atividade para levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes, ou, ainda, como instrumento avaliativo. Não há uma regra única, arbitrária, para sua construção. De acordo Moreira (2006), existem várias maneiras de traçar um mapa conceitual. Os fatores relevantes a serem considerados são a hierarquia e relação entre os conceitos, a evidência de significados atribuídos a conceitos e relações entre eles e a indicação de aprendizagem de um determinado assunto.

Mapas conceituais, segundo Moreira (2006), são diagramas que apresentam uma hierarquia entre conceitos relacionados, estruturado verticalmente ou horizontalmente, que buscam refletir a organização conceitual de um corpo de conhecimento ou apenas uma parte dele. “O mapa conceitual é apenas um meio para alcançar um fim” (SOUZA e BORUCHOVITCH, 2010, p. 196).

Entre as diversas finalidades do mapa conceitual, está o seu papel como instrumento avaliativo. Diferentemente dos tradicionais testes e provas, não se aplica nesse caso como uma forma de testar o conhecimento dos estudantes, nem para atribuir valor de uma nota, mas com o intento de averiguar a organização e estrutura conceitual que o aprendiz possui de um determinado tópico de estudo ou os significados que ele atribui aos conceitos estudados. De acordo Turns e Atman (2000, apud dos SANTOS, 2023, p. 55), o professor pode avaliar os mapas conceituais dos discentes verificando o número de conceitos representados, o número de ligações entre conceitos, o número de ligações cruzadas, o número de níveis hierárquicos ou, ainda, o número de exemplos citados.

Como instrumento avaliativo faz-se necessário frisar que não há o mapa conceitual certo ou errado, nem o mapa conceitual mais bonito ou perfeito. Um mesmo tópico pode ser representado de diversas maneiras por diferentes mapas conceituais indicando diferentes estruturas cognitivas na organização do conhecimento. O parâmetro mais importante a ser considerado é a verificação de indícios de uma aprendizagem levando em conta aspectos qualitativos e formativos, os conceitos apresentados e as relações entre eles.

Desta forma, os mapas conceituais ensejam a revisão do conteúdo e a análise da organização conceitual do conhecimento na estrutura cognitiva dos educandos, ou

seja, aquilo que o aluno já sabe sobre o assunto abordado e seus conceitos gerais e específicos. Isso permite a intervenção do professor, caso necessário, na consolidação do processo de ensino e aprendizagem do assunto.

6.0 APLICAÇÃO DO PRODUTO EM SALA DE AULA

Este capítulo destina-se a uma descrição de como a UEPS foi implementada no espaço da sala de aula, apresentando as estratégias e recursos metodológicos utilizados, atividades aplicadas, desafios e pontos positivos, bem como os sentimentos, a participação e contribuições dos discentes diante das atividades e conteúdos trabalhados. O produto foi aplicado no Colégio Estadual Edvaldo Flores, atualmente, Colégio Estadual de Tempo Integral de Maetinga, localizado na cidade de Maetinga, a 100 quilômetros de Vitória da Conquista, na Bahia. No período da aplicação, a escola tinha 12 turmas, sendo três turmas da 3ª série do Ensino Médio, com uma delas do curso técnico profissionalizante em Administração. A UEPS foi implementada na turma do 3º ano B, Novo Ensino Médio, composta, inicialmente, por 21 estudantes, sendo 11 da zona rural e 10 da zona urbana. Importante destacar que um dos estudantes era PCD.

A aplicação do produto foi desenvolvida em um total de 18 aulas, distribuídas em dois meses, de 15 de julho a 10 de setembro de 2024. Apresentamos, na seção a seguir, uma descrição dessas aulas e de cada etapa da UEPS.

6.1 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS

Esta seção contém uma breve apresentação de cada etapa da UEPS, na perspectiva de propiciar melhor compreensão ao leitor acerca da aplicação do produto.

6.1.1 Etapa 1

Essa etapa consiste na apresentação do tema. Sendo assim, foi apresentado o tema aos estudantes, assim como a proposta e objetivos a serem alcançados durante a implementação do produto educacional. Nesta ocasião, os discentes já tinham conhecimento de que a proposta se tratava de uma pesquisa de mestrado, pois já haviam recebido os termos de consentimento para participarem de tal estudo.

6.1.2 Etapa 2

De acordo Moreira (2012), nessa etapa é realizado um levantamento prévio dos conhecimentos dos estudantes, que pode ser por meio de situações, discussão, questionários, mapa conceitual ou mental, de modo que o estudante expõe seus conhecimentos e/ou opiniões atinentes ao assunto. Para tal finalidade, foi passado um

questionário modelo Likert, contendo 21 questões, utilizando a plataforma online mentimeter. Os estudantes foram orientados a acessar o endereço menti.com e utilizar o código de acesso ao questionário para que pudessem responder às questões. Para esse passo, os estudantes utilizaram o celular como recurso. O questionário pode ser acessado por meio do link ou QR code no apêndice B.

Dando continuidade, foi realizada a leitura do texto **“O extintor que vazou no carro da polícia”** (Apêndice C), com uma discussão sobre as perguntas apresentadas no final do texto a partir das quais os estudantes apresentaram suas respostas sobre a questão. Nessa etapa, muitos alunos, inicialmente, ficaram preocupados em apresentar a resposta errada. No entanto, foram orientados que nessa etapa não se trata de a resposta ser certa ou errada, mas do que eles pensam sobre a situação.

Ao final dessa etapa o professor orientou, como atividade para casa, a leitura do texto **“O encontro do radinho presunçoso de duas faixas com as moléculas de oxigênio e nitrogênio do ar”** (Apêndice C). De forma análoga ao primeiro texto, os alunos foram orientados a fazer a leitura e responder às questões levantadas no texto. Até este momento, foram utilizadas 2 horas aula.

Na aula seguinte, concluiu-se essa etapa com os discentes apresentando suas percepções e respostas acerca do segundo texto. A turma foi organizada em semicírculo e os estudantes expuseram suas respostas para os demais. Nesse diálogo, os discentes sentiram-se mais tranquilos quanto à preocupação de respostas certas ou erradas. Para tal atividade, utilizou-se parte da terceira aula.

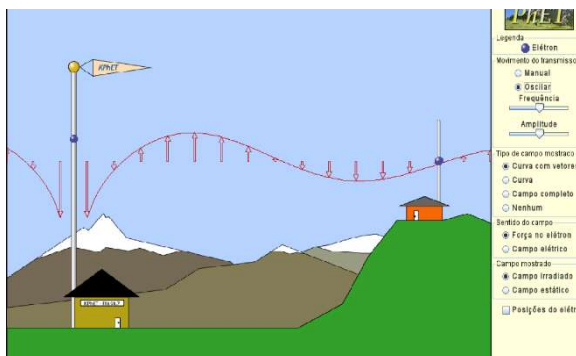
6.1.3 Etapa 3

Para o terceiro passo da UEPS é proposto situações-problemas em nível introdutório. Utilizando o restante da terceira aula, foi realizada a leitura de um novo texto: **“O super-herói que balançava o pente carregado”** (Apêndice C). Novamente, como atividade para casa, os estudantes foram instruídos a pensar nas situações e questões elencadas no texto. Para concluir, foi colocada a pergunta “qual noite é mais gelada, uma noite de céu limpo ou uma noite nublada?” Os estudantes divergiram em suas respostas e mesmo os que apresentavam a resposta correta não tinham convicção da opinião apresentada.

Prosseguindo a apresentação do conteúdo em nível introdutório, foi efetuado na plataforma online *PhET* a simulação da interação das ondas de rádio e campos eletromagnéticos (figura 20) para mostrar como ocorre a transmissão dos sinais de

rádio até nós. Em seguida, utilizando textos em slides, o professor fez uma exposição sobre o espectro eletromagnético, abordando com maior ênfase as ondas de rádio, micro-ondas e o infravermelho, seus comprimentos de onda e frequências, fechando as aulas três e quatro da UEPS.

Figura 20 - Ondas de rádio e campos eletromagnéticos



Fonte: *PhET* (2025)

6.1.4 Etapa 4

Nesse passo da UEPS, o conhecimento a ser ensinado e aprendido é apresentado levando-se em consideração a diferenciação progressiva. Nesse intuito, o estudo se deu retomando a leitura e discussão do texto **“O encontro do Radinho presunçoso de duas faixas com as moléculas de Oxigênio e o Nitrogênio do ar.”** Os alunos foram orientados a repensarem acerca da transmissão das informações até as pessoas, com base na simulação apresentada nas aulas anteriores, descrevendo por meio de desenho ou texto esse mecanismo. Utilizando a situação apresentada no texto, os discentes expressaram suas compreensões sobre faixas de rádio e uma abordagem da idealização humana de uma molécula ou partícula. Na aula seguinte, foi trabalhada a definição de corpo negro, seu espectro de radiação e o espectro de radiação da Terra comportando-se como um corpo negro. Esta exposição foi efetuada por meio de slides, concluindo com a simulação do espectro de corpo negro na plataforma online, *PhET*, fechando as aulas cinco e seis da sequência.

Para prosseguir, foi perguntado aos estudantes se eles consideravam o efeito estufa algo bom ou ruim. Muitos manifestaram a resposta e quase todos disseram ser algo ruim. Outros expressaram ter dúvidas e não quiseram opinar naquele instante.

O estudo do tema continuou com exibição de dois pequenos vídeos: **“Como os gases de efeito estufa realmente funcionam?”** e **“Eunice Foote e a Descoberta do Efeito Estufa”**. O primeiro retrata a importância da atmosfera e os gases de efeito

estufa para o equilíbrio do clima do planeta. O segundo fala sobre as primeiras evidências do aumento da temperatura média do planeta devido à presença do dióxido de carbono e de vapor d'água, registrada pela cientista Eunice Foote. A partir deste último vídeo, foi realizada uma discussão relatando a presença e a importância da mulher em descobertas científicas e na sociedade, tecendo uma comparação das descobertas de Eunice Foote com as de Marie Curie, pois esse momento oportuniza ao professor transcender ao conteúdo específico e construir uma aprendizagem para além do desenvolvimento cognitivo dos estudantes.

A partir dos vídeos apresentados, os estudantes foram instigados a pensarem novamente na situação apresentada no primeiro texto a respeito do vazamento do dióxido de carbono no carro da polícia.

Figura 21. Estudantes refazendo as questões do texto 1



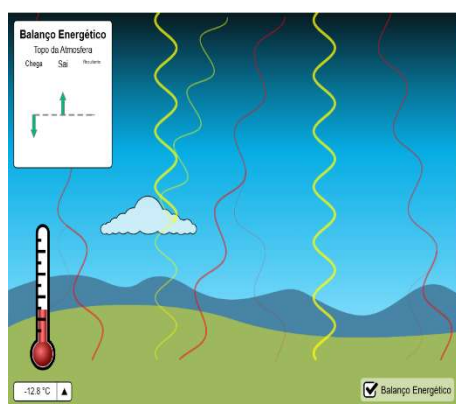
Fonte: Arquivo do autor (2024)

Para concluir a aula, complementando os vídeos expostos, foi efetuada uma simulação do efeito estufa utilizando o simulador virtual *PhET*, versando a radiação incidente no planeta e a radiação emitida em diferentes situações, como na presença ou ausência de nuvens. Essa simulação chamou muito a atenção dos discentes, que expressaram ser bem interessante poder visualizar por meio do simulador o que acontece com a radiação solar que chega ao planeta. Ao mesmo tempo, puderam compreender suas respostas acerca de qual noite era mais gelada e a importância do efeito estufa para o clima no planeta. Algumas respostas e conclusões dos estudantes serão apresentadas nos resultados, no capítulo 7.

Ainda dentro da quarta etapa, a aula seguinte foi iniciada realizando novamente a simulação do efeito estufa no simulador virtual *PhET*, apresentando o balanço de energia na atmosfera e a observação da variação da temperatura de acordo a concentração do dióxido de carbono na atmosfera, conforme podemos

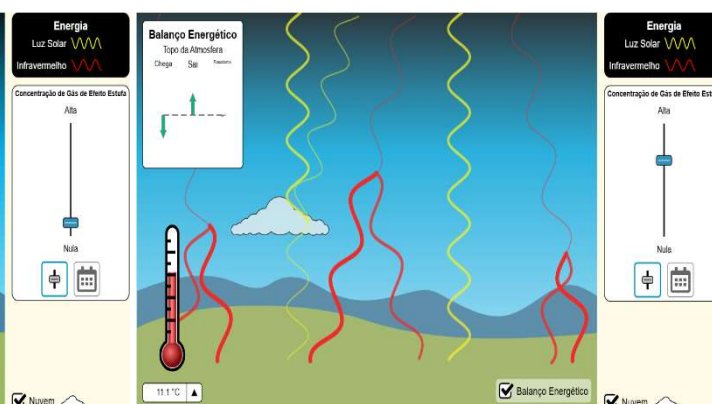
observar nas figuras 22 e 23.

Figura 22. Temperatura com menor concentração de gás de efeito estufa.



Fonte: PhET (2025)

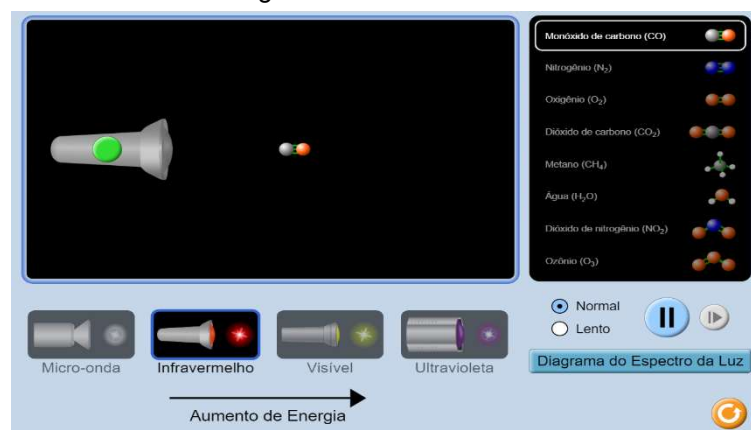
Figura 23. Temperatura com maior concentração de gás de efeito estufa.



Fonte: PhET (2025)

Aprofundando o conhecimento, foi efetuada mais uma simulação com a plataforma online *PhET*, mostrando a interação da radiação infravermelha com as moléculas dos gases que compõe a atmosfera (figura 24). Primeiramente, foram utilizados os gases nitrogênio e oxigênio, sendo relatado pelos alunos que nada acontecia entre a molécula e a radiação do espectro que passava por ela. Em seguida, a simulação ocorreu, nessa ordem, com as moléculas do dióxido de carbono, metano, água e ozônio. Os alunos reagiram diferentemente em relação à observação com os gases nitrogênio e oxigênio, comentando que esses novos gases eram capazes de absorver a radiação infravermelha e depois emití-la de volta. Aproveitando essas falas, o professor salientou que isso era o que ocorria com a atmosfera do nosso planeta, referindo-se ao vídeo apresentado nas aulas 6 e 7.

Figura 24. Moléculas e luz



https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/molecules-and-light

A continuação dos estudos sobre o tema foi pautada em uma pequena abordagem a respeito do histórico da ciência do clima, desde as primeiras descobertas, resultados de pesquisas e debates sobre gases capazes de absorver a radiação emitida pela Terra e suas consequências. Essa abordagem foi realizada com a apresentação de pequenos vídeos, disponíveis no apêndice D, com o professor fazendo um diálogo com os estudantes durante a apresentação de cada um deles.

Durante a exposição dos vídeos foi realizado junto com os estudantes outras discussões de caráter transdisciplinar, como o negacionismo da ciência e das mudanças climáticas, assim como das vacinas. Durante esse diálogo sobre os vídeos, foram elencadas as ações antrópicas que provocam a emissão dos gases de efeito estufa, os interesses políticos e econômicos que vão na contramão do clima visando os lucros e os impactos sociais e ambientais provocados pelas mudanças climáticas.

Por tratar-se de uma etapa com maior aprofundamento dos conteúdos, os estudos da mesma foram concluídos na décima primeira aula.

6.1.5 Etapa 5

Nessa etapa da UEPS, preconiza-se retomar os aspectos gerais em nível maior de complexidade. Nessa ótica, o professor iniciou essa etapa retomando a simulação na plataforma *PhET*, interação da radiação com as moléculas dos gases. Para explorar o conhecimento, o professor realizou simulações utilizando, além da radiação infravermelha, a luz visível, micro-ondas e ultravioleta, para mostrar como os gases da atmosfera interagem com essas demais radiações. Essa abordagem permitiu aos estudantes observarem que os gases de efeito estufa, como CO_2 e CH_4 , não absorvem as demais radiações do espectro eletromagnético como ocorre com a radiação infravermelha.

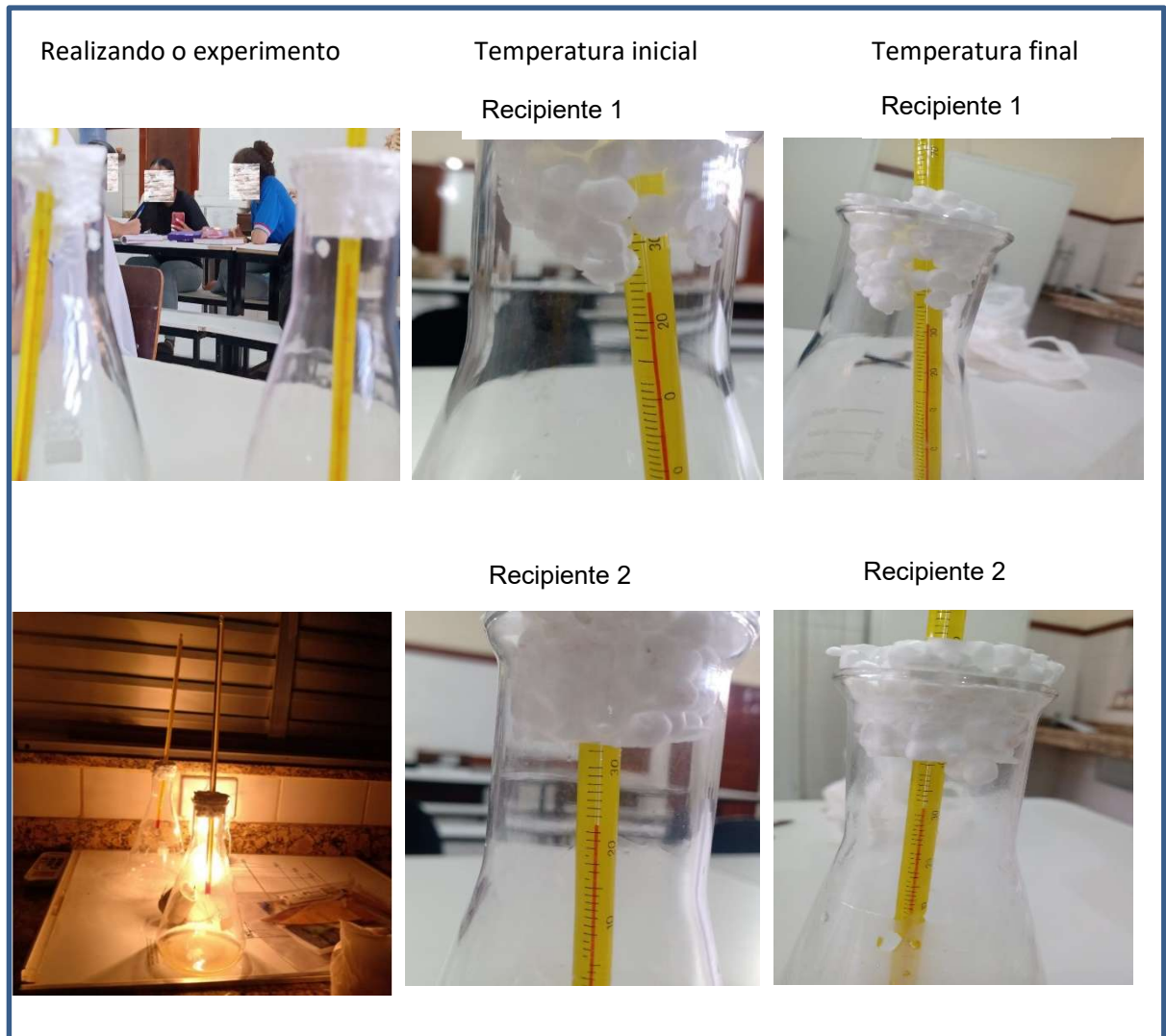
Os discentes observaram que as moléculas de água conseguiam captar as micro-ondas, além do infravermelho, porém destacaram que a radiação liberada pela Terra na troca de energia é o infravermelho. De modo similar, destacou-se a interação do ozônio com outras radiações e não somente com o infravermelho, porém as demais radiações não estão na frequência de emissão da Terra.

Dando sequência a essa etapa, o professor levou os estudantes para o laboratório da escola, onde foi realizado um experimento buscando mostrar o aumento do nível de dióxido de carbono na atmosfera e o aumento da temperatura média como uma das consequências do acúmulo desse gás na atmosfera.

Para efetuar o experimento, foram utilizados dois béqueres, dois termômetros de mercúrio, duas lâmpadas incandescente (100w) conectadas a uma tomada por um circuito paralelo, vinagre e um pouco de bicarbonato de sódio. Utilizando isopor, construiu-se duas tampas para os béqueres, deixando um furo no centro de cada uma delas por onde os termômetros foram introduzidos para medir a temperatura interna dos recipientes.

Inicialmente, verificou-se a temperatura ambiente registrada nos dois termômetros (figura 25 abaixo). Em seguida, colocou-se em um dos recipientes (recipiente 2) um pouco de vinagre, depois adicionou-se o bicarbonato de sódio, criando com a mistura o dióxido de carbono. De imediato, colocou-se a tampa de isopor com o termômetro nesse recipiente, acompanhando a variação das temperaturas em cada recipiente na sequência. O recipiente 1 tinha temperatura inicial de, aproximadamente, 24 °C. Após ser aquecido pela lâmpada, registrou aproximadamente 32 °C (figura 25). Já o recipiente 2, contendo maior concentração de dióxido de carbono, registrou inicialmente 23 °C e a temperatura final registrada ficou próximo dos 32 °C, conforme figura abaixo, indicando uma variação de temperatura de mais de 0,5 °C em relação ao recipiente número 1. Dessa forma, os estudantes puderam perceber por meio do experimento a maior variação de temperatura no recipiente 2 que continha maior concentração de dióxido de carbono, assimilando isso ao aumento da temperatura global devido as altas concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera.

Figura 25. Realização do experimento



Fonte: Arquivos do autor (2024).

Para explorar o assunto e ampliar as discussões, foram utilizados, dentro e fora de sala de aula, videoaulas e documentários do programa “Matéria de Capa” – TV Cultura, indicados no apêndice E. As videoaulas abordam o assunto efeito estufa retomando alguns conceitos como balanço de energia, albedo da Terra e espectro de emissão de um corpo. Os documentários trazem uma amostra dos diversos fenômenos climáticos extremos e suas intensificações, mudanças ocorridas no planeta que atestam as mudanças climáticas, as ações humanas associadas a essas mudanças no clima nos últimos cinquenta anos, em particular as últimas décadas, e os impactos previstos.

Essa parte da etapa cinco enseja mais uma vez o professor transcender o conhecimento específico ao discutir as ações antrópicas capazes de lançar gases de

efeito estufa na atmosfera, refletindo sobre o papel do ser humano nesse processo, além de apontar os diversos fenômenos climáticos extremos ocorridos no mundo e no Brasil, como as grandes enchentes ocorridas no estado do Rio Grande do Sul em 2024 e em outras cidades brasileiras nos últimos anos.

Fechando essa etapa em nível maior de complexidade, foram trabalhadas as leis de Stefan-Boltzmann para energia emitida por um corpo negro, e Wien, para o comprimento de onda máxima do espectro de radiação. A abordagem se realizou por meio da exposição, usando slides como recurso, e da resolução de algumas situações elaboradas pelo professor. Nessa oportunidade, foram reforçadas as características de um corpo negro, destacando que sua emissividade não depende da composição, mas da sua temperatura.

Por envolver o domínio matemático nessa fase do conteúdo, alguns estudantes manifestaram-se preocupados. Na oportunidade, o professor salientou que essa era a parte final do conteúdo a ser estudado e que ao tratar do balanço de energia da Terra e seu poder de emissão, assemelhando a um corpo negro, faz-se necessário apresentar e realizar um estudo dessas leis da Física.

Para concluir essa fase da sequência, foi apresentado, por meio de slides e utilizando o quadro, a equação para a taxa de variação da temperatura, retomando o que foi apresentado no simulador *PhET* sobre o balanço de energia, reforçando a lei de Stefan-Boltzmann, finalizando a décima quinta aula com a resolução de mais questões sobre o comprimento de onda associada à temperatura de emissão (lei de Wien).

6.1.6 Etapa 6

Considerada como etapa de conclusão da UEPS, esse momento oportunizou aos estudantes revisarem alguns conhecimentos, conceitos e ideias estudadas durante a UEPS. Essa fase iniciou-se com o professor apresentando o conceito de mapa conceitual com a exposição de alguns exemplos de mapas conceituais já produzidos. A partir dessa exposição, os estudantes foram orientados a confeccionar, individualmente, um mapa conceitual tendo como tema norteador as mudanças climáticas, valendo-se dos conhecimentos e aprendizagens adquiridas a respeito do tema durante a implementação da UEPS. A confecção dos mapas ocorreu com a orientação do professor e a interação entre os discentes.

A turma já detinha a ideia de mapas mentais, desenvolvidos em outros

componentes curriculares nos anos anteriores. Com isso, apenas complementaram a ideia para os mapas conceituais.

Alguns estudantes não conseguiram finalizar na sala, ficando a conclusão da atividade para casa.

A finalização dessa etapa ocorreu na aula seguinte com sugestões do professor para alguns estudantes a respeito dos seus mapas confeccionados e uma breve revisão de alguns tópicos. Foram abordados a interação dos campos eletromagnéticos e a antena de rádio, corpo negro, gases de efeito estufa, leis de Wien e Stefan-Boltzmann, além de uma rápida amostra de simulações mostrando a variação do nível das geleiras no planeta e uma reportagem explicando como é calculada a temperatura da Terra, exibida pelo Jornal Nacional, que pode ser acessada pelo endereço: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2024/08/31/como-e-medida-a-temperatura-do-planeta-jn-visita-instituto-responsavel-por-monitorar-mudancas-climaticas.ghtml>. (Último acesso: 28/10/2024, às 16h20min).

6.1.7 Etapa 7

Essa etapa é reservada para a avaliação final da aprendizagem. Nesse caso, avaliação final, pois a verificação da aprendizagem ocorre durante as demais etapas de aplicação da UEPS.

Para tal propósito, foi aplicado como atividade, um questionário contendo dez questões abertas e de múltiplas escolhas, questões conceituais, de assimilação e conhecimentos matemáticos. A atividade foi respondida individualmente em sala de aula, utilizando-se mais uma aula, fechando a implementação da UEPS com dezoito aulas. A figura 26 a seguir, mostra um dos momentos de realização dessa atividade final.

Figura 26. Estudantes realizando a avaliação final da aprendizagem



6.1.8 Etapa 8

Para avaliar o êxito da implementação da sequência, além das atividades desenvolvidas ao longo da sua aplicação e os resultados obtidos na avaliação final da aprendizagem, foi entregue aos estudantes um questionário que eles puderam responder em casa, emitindo sua opinião sobre o trabalho realizado pelo professor, os recursos e estratégias e os conhecimentos pertinentes para eles durante esse percurso.

A análise quanto ao potencial da sequência aplicada e as aprendizagens alcançados pelos discentes ao longo do processo serão apresentadas no próximo capítulo.

6.2 Cronograma de aplicação da UEPS

O quadro 3, abaixo, apresenta a distribuição das aulas e descrição das atividades durante a implementação da UEPS.

Quadro 3. Distribuição das aulas

Aula	Datas	Descrição das atividades
01	15/07/2024	<ul style="list-style-type: none">• Apresentação do tema, os objetivos, metodologia e formas de avaliação. Levantamento dos conhecimentos prévios <ul style="list-style-type: none">• Aplicação do questionário, modelo Likert.
02 e 03	16/07/2024	<ul style="list-style-type: none">• Leitura e discussão dos textos: “O extintor que vazou no carro da polícia” e “O encontro do radinho presunçoso de duas faixas com as moléculas de oxigênio e nitrogênio do ar.”
04 e 05	22/07/2024 23/07/2024	Situações-problema em nível introdutório <ul style="list-style-type: none">• Leitura do texto “O super-herói que balançava o pente carregado” e resolução das questões apresentadas no texto;• Simulação da interação das ondas de rádio e campos eletromagnéticos, utilizando o <i>PhET</i>;• Exposição sobre o espectro eletromagnético.
06 e 07	23/07/2024 29/07/2024	Apresentação do conhecimento a ser ensinado/aprendido

		<ul style="list-style-type: none"> ● Retorno da discussão das questões do texto “O encontro do Radinho presunçoso de duas faixas com as moléculas de Oxigênio e o Nitrogênio do ar”; ● Aula expositiva sobre corpo negro; ● Simulação utilizando do espectro de radiação de corpo negro;
08 e 09	30/07/2024 30/07/2024	<ul style="list-style-type: none"> ● Espectro de radiação da Terra; ● Exibição dos vídeos: https://www.youtube.com/watch?v=2oxCnVUJCwQ https://www.youtube.com/watch?v=q6A-pEsvsGA ● Retorno às questões apresentadas no texto “O extintor que vazou no carro da polícia”.
10 e 11	05/08/2024 06/08/2027	<ul style="list-style-type: none"> ● Simulação do efeito estufa; ● Simulação: interação entre moléculas de gases e radiação; ● Apresentação e discussão dos pequenos vídeos acerca do histórico da ciência do clima e as mudanças climáticas.
12 e 13	13/08/2024	<p>Retomar os aspectos gerais em nível maior de complexidade</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Simulação: interação da radiação com as moléculas dos gases; ● Realização de experimento; ● Lei de Stefan-Boltzmann e lei de Wien;
14 e 15	20/08/2024	<ul style="list-style-type: none"> ● Taxa de variação da temperatura; ● Resolução de questionário.
16 e 17	27/08/2024 03/09/2024	<p>Conclusão da UEPS</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Conceito e ideia de mapas conceituais; ● Elaboração de mapas conceituais; ● Revisão de alguns estudos: corpo negro, gases de efeito estufa, lei de Wien e lei de Stefan-Boltzmann; ● Simulação da variação do nível das geleiras; ● Apresentação de como é calculada a temperatura da Terra.

18	10/09/2024	Avaliação final da aprendizagem <ul style="list-style-type: none">● Aplicação de um questionário com questões abertas e de múltipla escolha.
		Êxito da implementação da sequência <ul style="list-style-type: none">● Durante todo processo de implementação e descrição dos resultados obtidos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

7.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

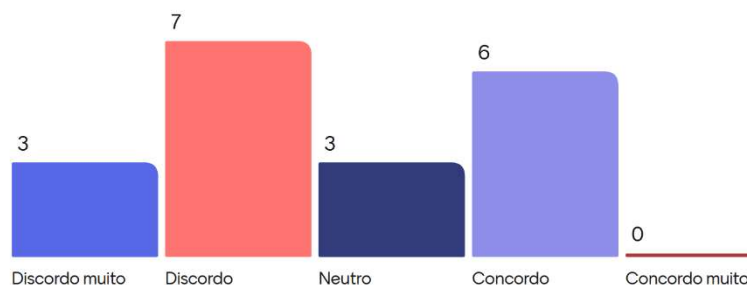
Esse capítulo apresenta uma análise dos resultados e discussões julgadas pertinentes após as atividades realizadas em sala de aula. Algumas atividades foram realizadas na etapa inicial dos conhecimentos prévios e reaplicadas posteriormente no decorrer ou na conclusão da UEPS.

7.1 APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO LIKERT

A etapa de levantamento dos conhecimentos prévios teve a participação de 19 estudantes e iniciou-se por meio do questionário Likert. O questionário é composto por 21 questões de múltipla escolha e algumas delas foram selecionadas para compor as discussões dos resultados alcançados. O mesmo questionário foi reaplicado na fase final da UEPS, com intento de avaliar a opinião dos discentes comparando as repostas iniciais com as apresentadas na conclusão da UEPS. Apenas 16 estudantes responderam ao questionário na reaplicação. O questionário e os resultados alcançados em cada etapa da aplicação, respectivamente, podem ser acessados pelos links ou QR code no apêndice B.

Figura 27. Resultado do questionário Likert

A ciência do clima permanece completamente incerta.

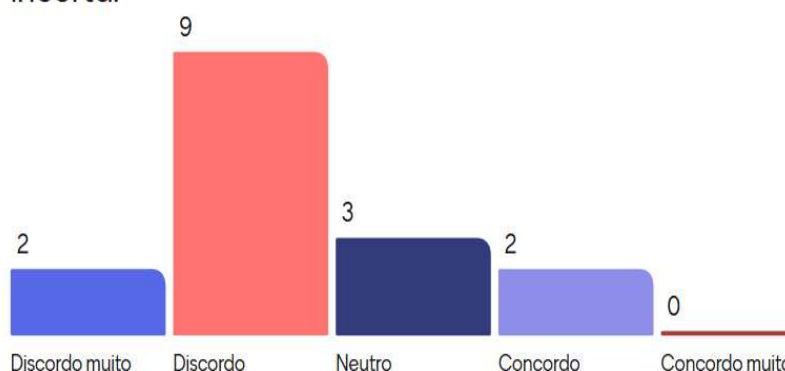


Fonte: www.mentimeter.com/app/presentation/al2r49iocq6n6c8fov2p4mi5jvfw7h7/view?question=gfvqipfgvqyr

A questão número um, conforme figura 27 acima, mostra na etapa inicial, mostra que 32% (6 de 19) dos estudantes dizem concordar com a afirmação, enquanto os que de alguma forma discordam, somam 53% (10 de 19). Os demais optaram por neutro. Esse resultado indica que o pensamento dos estudantes, em maioria, entendia a ciência do clima confiável. Ao reaplicar o questionário, os que discordam de tal afirmação somam 69% (11 de 16) e os que concordam, apenas 13% (2 de 16), como mostrado na figura 28 abaixo, evidenciando mais adesão aos resultados científicos acerca do clima após os estudos sobre o tema.

Figura 28. Resultado do questionário Likert

1) A ciência do clima permanece completamente incerta.

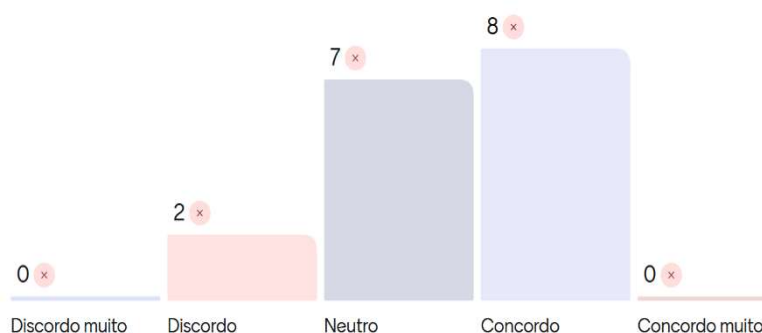


Fonte: <https://www.mentimeter.com/app/presentation/alws9ta1rxheq6tjfh2yjokwf97m8dsm/edit?question=7himwk5qagny>

A questão dois teve a participação de apenas 17 estudantes. Os resultados acerca da afirmação na fase inicial estão na figura 29 a seguir, e mostram que, no começo, somente 2 dos 17 estudantes discordavam da afirmação, enquanto 8 concordavam e outros 7 foram neutros na resposta.

Figura 29. Resultado do questionário Likert

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é uma tentativa de dominação por parte dos cientistas.

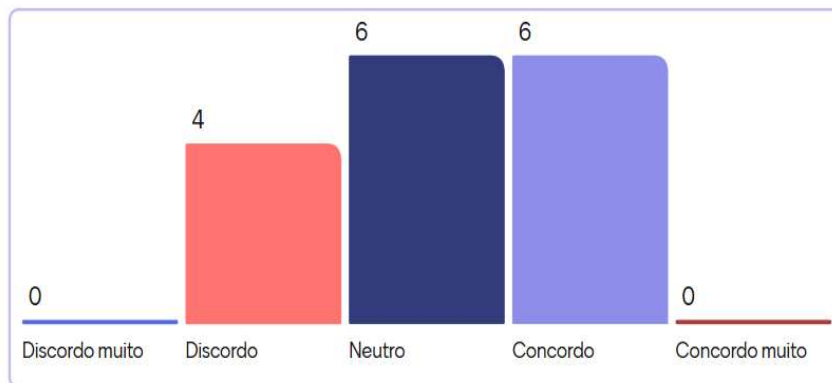


Fonte: www.mentimeter.com/app/presentation/al2r49iocq6n6c8fov2p4mi5jvfw7h7/view?question=4w8uyay4paou

Sobre essa afirmação, a turma manteve-se quase inerte no final em relação ao resultado inicial, com a participação de 16 discentes, onde 4 discordam da afirmação, 6 concordam e outros 6 foram neutros, mostrando pequena diferença entre os dois momentos da aplicação, conforme pode ser observado na figura 30.

Figura 30. Resultado do questionário Likert

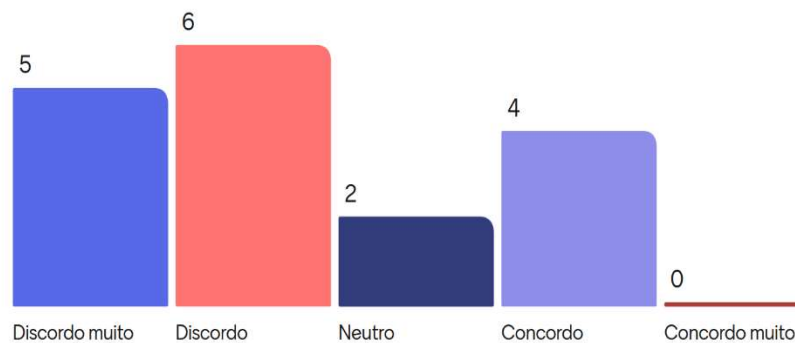
2) O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é uma tentativa de dominação por parte dos cientistas.



Fonte: <https://www.mentimeter.com/app/presentation/alws9ta1rxheq6tjfh2yjokwf97m8dsm/edit?question=q8tpp49dq5e8>

A sexta questão, que teve resposta de apenas 17 alunos inicialmente, traz a seguinte afirmação: "o que estamos passando seria apenas um aquecimento normal do sistema terrestre, precedendo uma era de resfriamento e glaciação." Observa-se nos resultados mostrados na figura 31 que 64,7% (11 de 17) dos discentes, inicialmente, expressaram discordar dessa afirmação, entendendo que estamos passando por um aquecimento anormal do planeta.

Figura 31. Resultado do questionário Likert

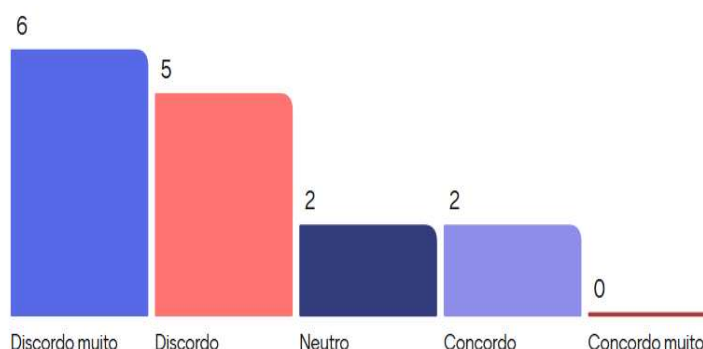


Fonte: www.mentimeter.com/app/presentation/al2r49iocq6n6c8fov2p4mi5jvfw7h7/view?question=5vh9imxe9toy

Na parte final, 15 alunos da turma responderam a essa questão e 73,3% (11 de 15) discordam da afirmação, conforme figura 32, mostrando que um grande percentual da turma considera anormal o aquecimento terrestre. Dois alunos disseram-se neutros em ambos momentos e quatro alunos concordam no primeiro momento. Após a aplicação da UEPS, apenas dois mantêm-se concordando com a ideia (figura 31 e 32). Esses resultados indicam que a maioria dos estudantes

reforçaram ainda mais seus pensamentos sobre o assunto, e outros deles construíram um novo entendimento acerca da temática.

Figura 32. Resultado do questionário Likert

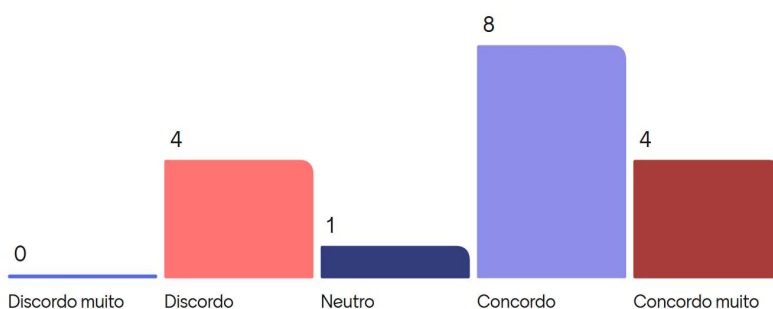


Fonte: <https://www.mentimeter.com/app/presentation/alws9ta1rxheq6tjfh2yjokwf97m8dsm/edit?question=1du4dxtk3w4w>

A sétima questão afirma que “os invernos em muitos locais têm sido mais frios, contradizendo a ideia de aquecimento divulgada por cientistas e pela mídia.” No início, 23,5% (4 de 17) discordavam da afirmação e 47% (8 de 17) foram favoráveis à situação descrita, conforme podemos observar na figura 33 abaixo.

Figura 33. Resultado do questionário Likert

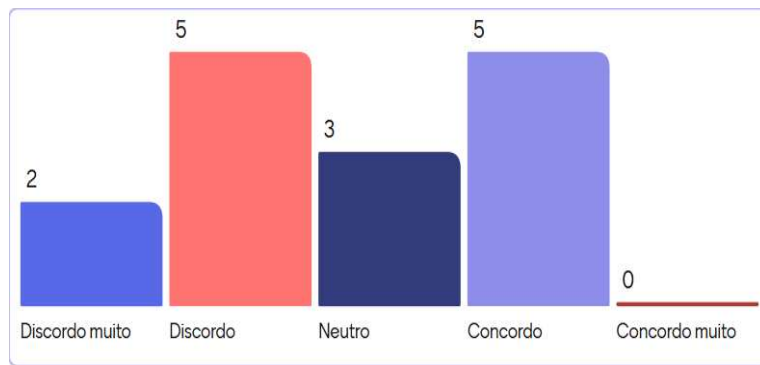
Os invernos em muitos locais têm sido mais frios, contradizendo a ideia de aquecimento divulgada por cientistas e pela mídia.



Fonte: www.mentimeter.com/app/presentation/al2r49iocq6n6c8fov2p4mi5jvfw7h7/view?question=p6k8ii3262md

Ao re replicar o questionário com quinze participantes, tivemos uma redução dos que aprovavam a ideia e um aumento significativo dos que rejeitam tal afirmação, ao comparar a figura 34 abaixo e a figura 33 acima.

Figura 34. Resultado do questionário Likert

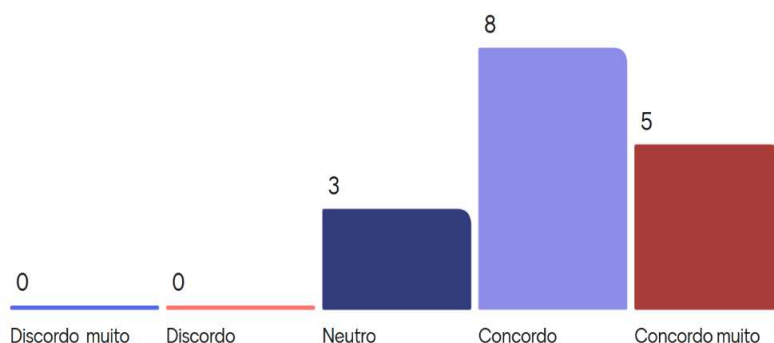


Fonte: <https://www.mentimeter.com/app/presentation/alws9ta1rxheq6tjfh2yjokwf97m8dsm/edit?question=wsmpqb4awxda>

Os resultados nas respostas a essa questão indicam que houve alunos que mudaram de opinião a respeito da afirmação, pois o total de estudantes que rejeitam a ideia passa a ser maior que o número dos que comungam com o pensamento apresentado nessa questão.

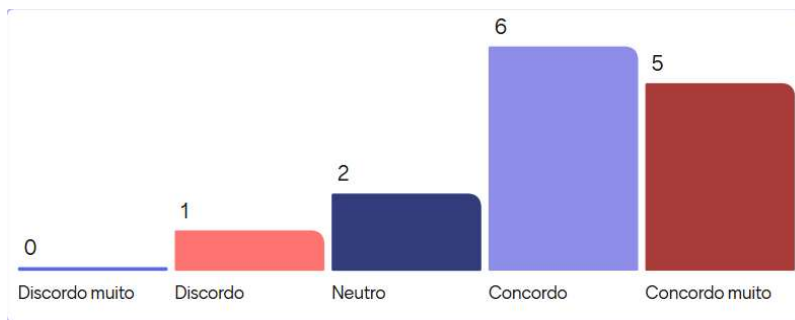
Dezesseis estudantes responderam a questão doze. Em ambos momentos, um grande percentual dos estudantes mostrou-se favorável à informação apresentada, mesmo havendo um número menor de participantes nas respostas finais. A questão traz a informação de que “*houve aumento das emissões antrópicas desde a revolução industrial, oriundas da queima de combustíveis, do desmatamento e da degradação florestal.*” Observa-se que, no primeiro momento, 13 dos 16 participantes concordam com a informação e 11 dos 14 participantes apresentam o mesmo posicionamento no final, como podemos ver nas figuras 35 e 36 abaixo.

Figura 35. Resultado do questionário Likert



Fonte: www.mentimeter.com/app/presentation/al2r49iocq6n6c8fov2p4mi5vjfw7h7/view?question=m3mwbme1fdvk

Figura 36. Resultado do questionário Likert

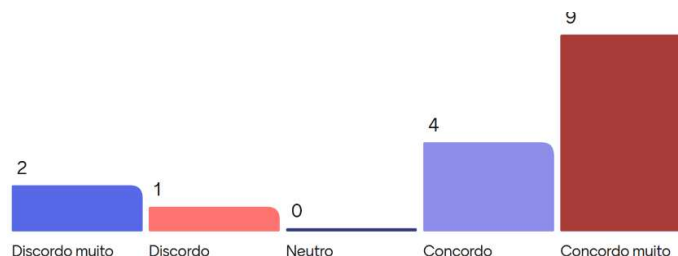


Fonte: <https://www.mentimeter.com/app/presentation/alws9ta1rxheq6tjfh2yjokwf97m8dsm/edit?question=oxaawt9ssgvd>

Em geral, os resultados dessa questão mostram que os discentes compreendem que as ações antropogênicas têm sido um dos fatores influentes no clima e suas mudanças.

Em relação à questão quinze, “o clima está mudando devido à ação do ser humano”, dezesseis estudantes responderam no momento inicial e catorze no final. Uma grande parte dos estudantes, 13 de 16, concordam com a afirmativa e três deles foram contrários à ideia no primeiro momento (figura 37). Ao reaplicar o questionário, 11 dos 14 estudantes apresentam opinião em acordo com a expressão, três disseram-se neutros e não houve discordância, como podemos observar na figura 38.

Figura 37. Resultado do questionário Likert



Fonte: www.mentimeter.com/app/presentation/al2r49iocq6n6c8fov2p4mi5vjfw7h7/view?question=qr5tf14dc8nx

Figura 38. Resultado do questionário Likert



Fonte: <https://www.mentimeter.com/app/presentation/alws9ta1rxheq6tjfh2yjokwf97m8dsm/edit>

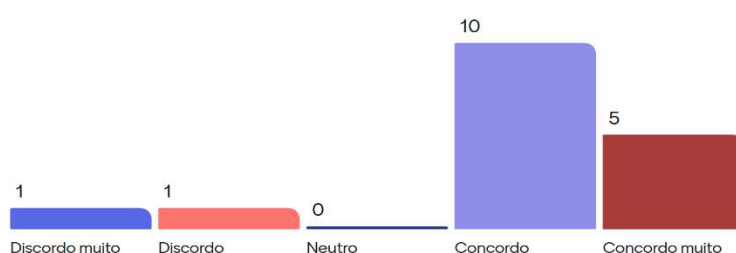
it?question=8n26abqreitp

Os resultados atingidos nessa questão indicam que muitos dos discentes já apresentavam a ideia acerca do papel das ações antrópicas nas mudanças climáticas e reafirmaram esse pensamento após os estudos da UEPS.

Por fim, foi selecionada a questão 20, que apresenta como afirmação “o aquecimento global é o maior desafio da humanidade.” Novamente, apenas 17 dos 19 estudantes responderam à questão na etapa inicial, sendo quinze deles em acordo com a situação e dois contrários, figura 39.

Figura 39. Resultado do questionário Likert

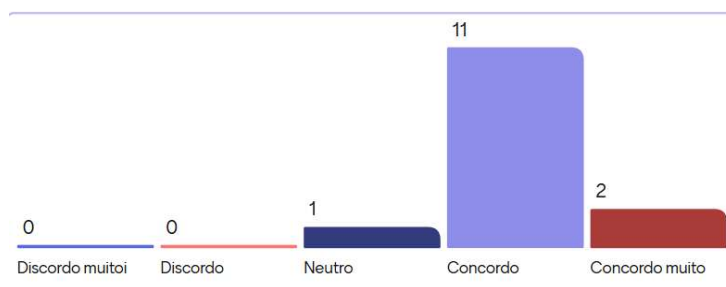
O aquecimento global é o maior desafio da humanidade.



Fonte: www.mentimeter.com/app/presentation/al2r49iocq6n6c8fov2p4mi5jvfw7h7/view?question=o5kq2rj116k1

Ao ser reaplicado o questionário com a participação de quinze educandos, catorze manifestaram-se em acordo e um posicionou-se neutro, não havendo alguém contrário, conforme figura 40 na página seguinte.

Figura 40. Resultado do questionário Likert



Fonte: <https://www.mentimeter.com/app/presentation/alws9ta1rxheq6tjfh2yjokwf97m8dsm/edit?question=7cgqsev74hke>

A opinião expressa pelos estudantes nesse item demonstra uma preocupação por parte dos mesmos em relação ao futuro dessas gerações no que diz respeito ao enfrentamento das mudanças climáticas e ambientais causadas pelo ser humano.

7.2 TEXTOS DIDÁTICOS

A exploração dos conhecimentos prévios dos educandos não se restringiu

apenas ao questionário Likert. Afim de esmerilar os saberes acerca de tópicos inerentes aos conhecimentos da Física, foram apresentados aos estudantes dois textos didáticos, construídos pelos autores desse trabalho, com algumas questões e situações a serem analisadas. De forma similar ao questionário, as questões abordadas nos textos foram debatidas e discutidas em dois momentos diferentes.

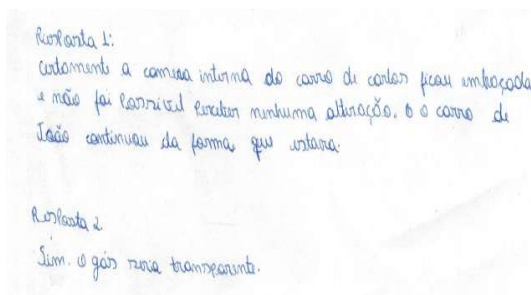
Seguem as respostas de alguns discentes na parte inicial da aplicação da UEPS e suas respostas durante a implementação.

7.2.1 O extintor que vazou no carro da polícia

O primeiro texto apresenta uma situação envolvendo duas viaturas equipadas com câmeras e termômetros, onde numa delas ocorre o vazamento de dióxido de carbono do extintor, enquanto na outra viatura não ocorre a mesma situação. Diante de tal acontecimento, o texto levanta as seguintes questões: 1) o que você acha que as câmeras internas de cada carro registraram à medida que a concentração de dióxido de carbono dentro do carro de Carlos aumentava e a de João mantinha-se constante? As câmeras registrariam algo semelhante se o gás fosse oxigênio ou nitrogênio?

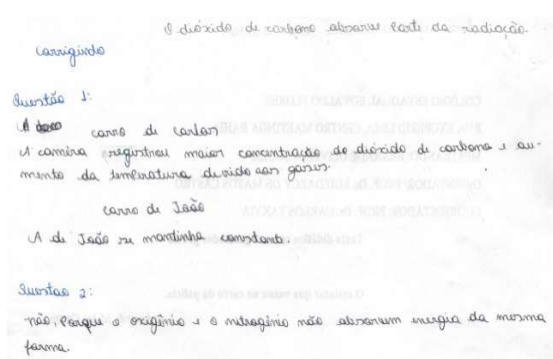
Para análise das respostas apresentadas pelos estudantes nos dois momentos distintos, foram selecionadas duas atividades, realizadas pelos discentes 01 e 18, conforme figuras 41 e 42 abaixo e figuras 43 e 44. As respostas, de acordo a ordem de aplicação da UEPS, estão da esquerda para a direita. Os estudantes estão identificados de acordo a ordem de registro no diário de classe.

Figura 41. Resposta do discente 01



Fonte: Arquivo do autor (2024)

Figura 42. Resposta final do discente 01

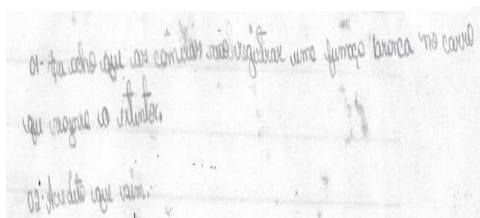


Fonte: Arquivo do autor (2024)

Transcrevemos cada resposta apresentada para melhor entendimento por parte do leitor. Na figura 41, o estudante 01 responde inicialmente: *“Certamente a câmara interna do carro de Carlos ficou embaçada e não foi possível perceber nenhuma alteração. O carro de João continuou da forma que estava.”* *“Sim! O gás seria transparente.”*

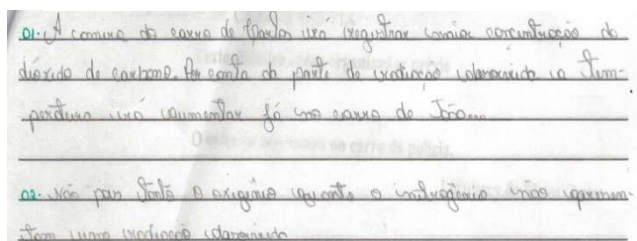
Na figura 42, ao corrigir a resposta, temos, *“O dióxido de carbono absorve parte da radiação. Carro de Carlos, a câmara registrou maior concentração de dióxido de carbono e aumento da temperatura devido aos gases.”* *“Não, porque o oxigênio e o nitrogênio não absorvem energia da mesma forma.”*

Figura 43. Resposta do discente 18



Fonte: Arquivo do autor (2024)

Figura 44. Resposta final do discente 18



Fonte: Arquivo do autor (2024)

Fazendo a transcrição das respostas do discente 18, temos na figura 43: *“Eu acho que as câmeras vão registrar uma fumaça branca no carro que vazou o extintor.”* *“Acredito que sim!”* A resposta final, na figura 44, traz *“A câmara do carro de Carlos irá registrar maior concentração de dióxido de carbono. Por conta da parte de radiação absorvida, a temperatura irá aumentar. Já no carro de João...”* *“Não. Pois tanto o oxigênio, quanto o nitrogênio, não apresenta uma radiação absorvida.”*

Na fase inicial, a resposta do estudante 01, figura 41, para a primeira pergunta, indica não ser possível perceber alterações devido ao acúmulo do gás no carro em que houve o vazamento. Para a segunda pergunta, figura 41, o estudante concorda que teria o mesmo registro. De modo parecido, o segundo discente entende que o acúmulo do gás dentro do carro possibilita visualizar uma fumaça no seu interior e acredita ocorrer a mesma coisa se fossem os gases nitrogênio ou oxigênio, conforme é observado na figura 43.

Na segunda resposta, é possível perceber uma mudança de pensamento de ambos. Na questão um, figuras 42 e 44, os discentes relatam a maior concentração de dióxido de carbono no carro em que houve o vazamento e um aumento maior em sua temperatura por ocorrer maior absorção de radiação. Já na questão dois, figuras

42 e 44, os estudantes entendem que os gases citados não têm a mesma propriedade de absorção de radiação e, por tanto, não registrariam a mesma situação.

Os resultados esboçados apresentam evidências da evolução dos conhecimentos dos estudantes acerca do assunto no decorrer da abordagem dos conteúdos, elucidando respostas que inicialmente não estavam claras e construindo novas aprendizagens.

7.2.2 O encontro do Radinho presunçoso de duas faixas com as moléculas de Oxigênio e o Nitrogênio do ar

O segundo texto trata de um diálogo entre um pequeno rádio e as moléculas de oxigênio e nitrogênio. No final é proposto a seguinte atividade:

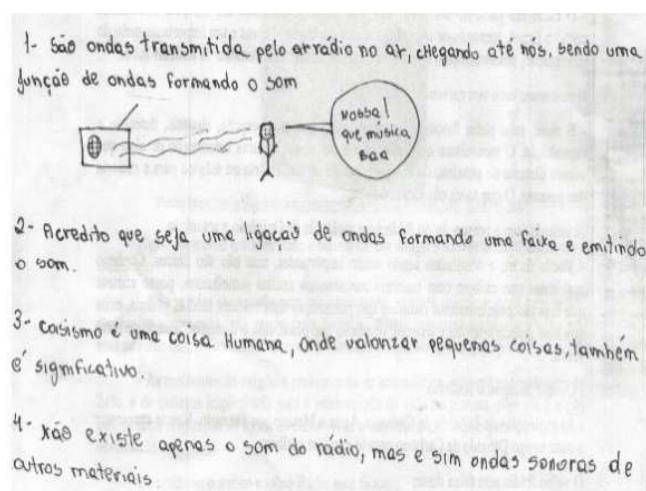
Após a leitura do texto, Responda às questões:

1. O Radinho no texto: o mecanismo que envolve a transmissão de uma informação de algo que ocorre distante ou próximo de nós parece algo extraordinário ou mágico para a maioria das pessoas. Você sabe explicar fisicamente esse mecanismo? Faça um desenho tentando explicar esse mecanismo?
2. O que você entende por faixas do rádio?
3. No texto o velho Rádio disse: “Não precisa ser grande para ser importante, se você coisificar pode pensar nas moléculas como cada uma sendo duas bolinhas muito pequenas invisíveis a olho nú, mas adverte que, o “coisismo” é coisa de humano e mais atrapalha que ajuda.” Você sabe explicar o que ele quis dizer?
4. No texto vimos que já irritada com a presunção do Radinho a molécula de Oxigênio o retorquiou: “Vocês foram e continuam sendo muito importantes, mas não são únicos. Conheço moléculas que exibem com maestria mecanismos muitos semelhantes, posso afirmar que elas são pequeníssimos radinhos que mantêm as temperaturas médias globais, evita que haja grande amplitude térmica, condição que possibilita o desenvolvimento de seres vivos.” Você sabe o que ela quis dizer com essas afirmações?

Novamente foram selecionadas duas respostas distintas, estudantes número 13 e 14, apresentando as respostas desses estudantes nos dois momentos da aplicação da UEPS, conforme as figuras 45, 46, 47 e 48 abaixo.

Sobre a questão 1, inicialmente o estudante 13 responde que “*são ondas transmitidas pelo rádio no ar, chegando até nós, sendo uma função de ondas formando som*” e representa por meio do desenho de um rádio e ondas sonoras emitidas pelo mesmo (figura 45). Após os estudos e a realização da simulação *ondas de rádio e campos eletromagnéticos no PhET*, o estudante apresenta uma resposta mais adequada e uma representação melhor elaborada da situação, conforme figura 46.

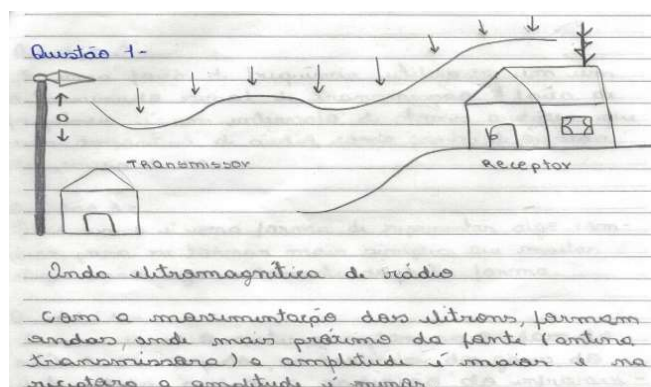
Figura 45. Resposta do discente 13



1- "São ondas transmitidas pelo rádio no ar, chegando até nós, sendo uma função de ondas formando som."
2- "Acredito que seja uma ligação de ondas formando uma faixa e emitindo som."
3- "Coisismo é uma coisa humana, onde valorizar pequenas coisas também é significativo."
4- "Não existe apenas o som do rádio, mas sim ondas sonoras de outros materiais."

Fonte: Arquivo do autor (2024).

Figura 46. Resposta final do discente 13



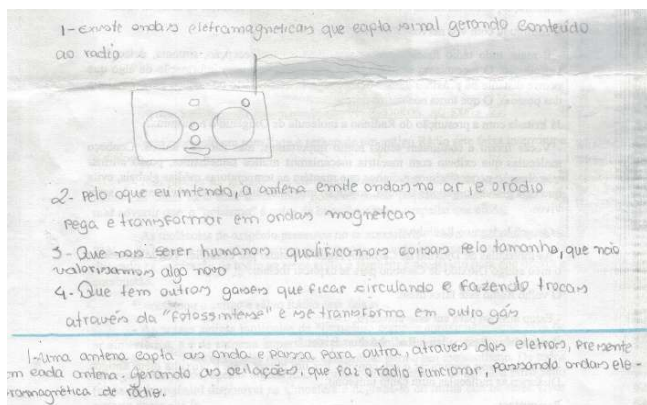
Além de expressar corretamente por meio do desenho, o estudante descreve que "com a movimentação dos elétrons, formam ondas, onde mais próximo da fonte (antena transmissora) a amplitude é maior e na receptora a amplitude é menor."

Fonte: Arquivo do autor (2024)

O estudante 14 traz inicialmente o conhecimento de onda eletromagnética, mas descreve insatisfatoriamente a situação. No entanto, ao refazer sua resposta, esse conceito quanto à transmissão de uma informação é melhor elaborado, conforme podemos ver nas respostas nas figuras 47 e 48.

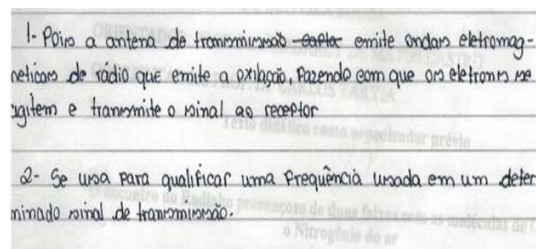
Transcrevemos a seguir, as respostas iniciais apresentadas pelo estudante 14, na figura 47 a seguir: "existem ondas eletromagnéticas que captam sinal, gerando conteúdo ao rádio"; "pelo que eu entendo, a antena emite ondas no ar, e o rádio pega e transforma em ondas magnéticas"; "que nós seres humanos qualificamos coisas pelo tamanho, que não valorizamos algo novo"; "que tem outros gases que ficam circulando fazendo trocas através da "fotossíntese" e se transforma em outro gás".

Figura 47. Resposta do discente 14



Fonte: Arquivo do autor (2024)

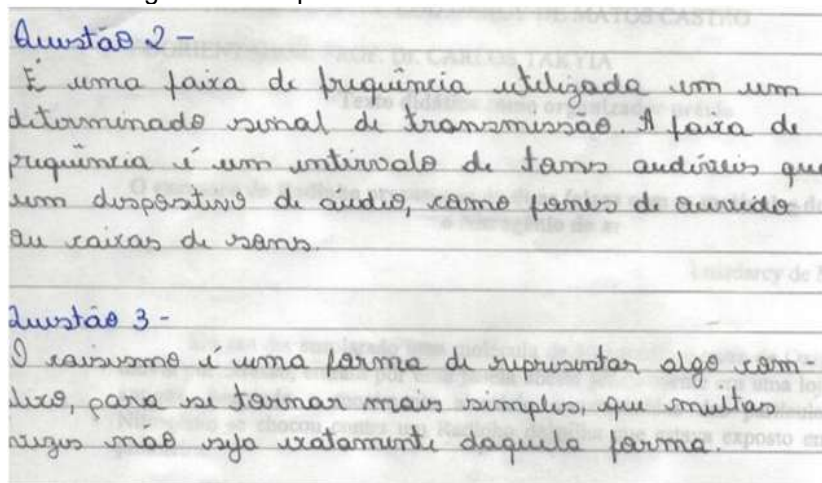
Figura 48. Resposta final do discente 14



Fonte: Arquivo do autor (2024)

Em relação à segunda questão, observa-se que o estudante 13 tem uma melhor visão acerca da faixa de frequência em relação ao estudante 14, figuras 45 e 47. Ainda assim, não tem o entendimento correto sobre o conteúdo. No entanto, a partir das simulações e discussões durante as aulas, suas respostas são reelaboradas, demonstrando compreensão do assunto e entendimento da questão, de acordo repostas nas figuras 48 e 49. Apresentamos, a seguir, a transcrição das respostas finais do estudante 14, na figura 48. *“Pois a antena de transmissão emite ondas eletromagnéticas de rádio, que emite a oscilação, fazendo com que os elétrons se agitem e transmitem o sinal ao receptor.”* *“Se usa para qualificar uma frequência em um determinado sinal de transmissão.”*

Figura 49. Resposta final do discente 13.



2- "É uma faixa de frequência utilizada em um determinado sinal de transmissão. A faixa de frequência é um intervalo de tons audíveis que um dispositivo de áudio, como fone de ouvidos ou caixas de sons."

3- "O coisismo é uma forma de representar algo complexo, para se tornar mais simples, que muitas vezes não seja exatamente daquela forma."

2- "É uma faixa de frequência utilizada em um determinado sinal de transmissão. A faixa de frequência é um intervalo de tons audíveis que um dispositivo de áudio, como fone de ouvidos ou caixas de sons."

3- "O coisismo é uma forma de representar algo complexo, para se tornar mais simples, que muitas vezes não seja exatamente daquela forma."

Fonte: Arquivo do autor (2024)

Para a terceira questão utilizamos apenas as respostas do estudante 13, apresentadas nas figuras 45 e 49, acima. A questão traz uma perspectiva da transdisciplinaridade ao colocar a visão humana acerca daquilo que não pode ser visto e sua forma de representar, ou seja, formas de tentar apresentar concretamente algo abstrato.

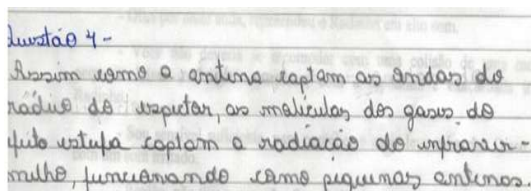
Para essa questão, o discente no primeiro instante entende o "coisismo" como uma atitude humana de valorizar e dar significado a algo pequeno. Após as discussões, conforme observamos na figura 49, sua resposta indica uma compreensão mais adequada da questão ao relatar que essa é uma ideia de buscar simplificar algo complexo para facilitar sua compreensão, sendo essa ideia algo intrínseco dos humanos.

Para finalizar a discussão do texto, a quarta situação refere-se à importância das moléculas de CO₂ para o ser humano. Quanto a essa questão, o estudante 13, inicialmente, mostra confundir o assunto, restringindo-o apenas a ondas sonoras, enquanto o estudante 14 entende a existência de outros gases na atmosfera, além do

oxigênio e hidrogênio, mas não consegue dar a explicação correta da situação, conforme pode ser observado nas figuras 45 e 47 acima, respectivamente. Posteriormente, ao reelaborar suas respostas, percebe-se que os discentes conseguiram associar o que acontece na atmosfera entre as moléculas de gases de efeito estufa e a radiação emitida pela Terra, ao comparar com a interação das ondas de rádio e uma antena receptora, conforme podemos observar nas figuras 50 e 51, a seguir. Para melhor leitura e compreensão, fizemos as transcrições das respostas apresentadas nas figuras abaixo.

Figura 50. Resposta final do discente 13

Resposta final discente, 13
4- *“Assim como a antena capta as ondas de rádio, as moléculas dos gases de efeito estufa captam a radiação do infravermelho, funcionando como pequenas antenas.”*

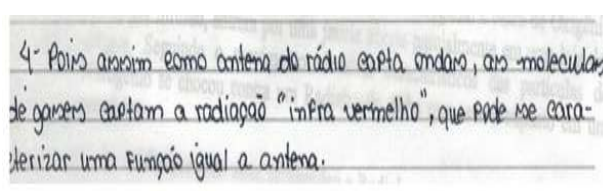


Questão 4-
Assim como a antena capta as ondas de rádio de receptor, as moléculas dos gases de efeito estufa captam a radiação do infravermelho, funcionando como pequenas antenas.

Fonte: Arquivo do autor (2024)

Figura 51. Resposta final do discente 14

Resposta final, discente 14
4- *“Pois assim como antena do rádio capta ondas, as moléculas de gases captam a radiação infravermelha, que pode se caracterizar uma função igual a antena”*



4- Pois assim como antena do rádio capta ondas, as moléculas de gases captam a radiação "infra vermelho", que pode se caracterizar uma função igual a antena.

Fonte: Arquivo do autor (2024)

Além das respostas finais dos estudantes 13 e 14, o estudante 9 apresentou a seguinte conclusão: *“a molécula de oxigênio ressalta que não é a única; outras moléculas, como do dióxido de carbono e vapor d’água, também regulam a temperatura da Terra.”*

Considerando as quatro questões discutidas, e não somente as respostas dos estudantes inseridas aqui, mas de maneira geral, a turma demonstrou grande evolução na compreensão das situações e na construção de novas aprendizagens de forma significativa e crítica após a abordagem do assunto em sala de aula durante a implementação da UEPS. Compreenderam o papel dos gases de efeito estufa para o equilíbrio térmico do planeta, a interação desses gases com a radiação infravermelha, bem como a forma de transmissão de sinal de rádio e suas faixas de frequência.

7.2.3 O super herói que balançava o pente carregado

Este terceiro texto foi utilizado para abordar o intervalo de frequência de algumas radiações eletromagnéticas e buscou-se fazer uma integração com a

frequência de vibração das moléculas de CO_2 e, para além disso, realizou-se uma abordagem sobre aparelhos capazes de emitir ondas com frequências que permitem bloquear sinais de outros aparelhos, como rádio, drones e celulares.

O texto apresenta uma situação fictícia de um super herói em uma sala de aula que consegue agitar um pente eletrizado atingindo as frequências das radiações eletromagnéticas. Uma das situações criadas pelo texto é o aquecimento de água em um recipiente enquanto o pente eletrizado é agitado em uma determinada frequência. Nessa situação, os alunos compreenderam que a frequência de oscilação do pente atinge o intervalo de frequência das micro-ondas e as moléculas da água absorvem as radiações incidentes, fazendo a água aquecer, conforme podemos ver nas respostas de dois estudantes, transcritas abaixo.

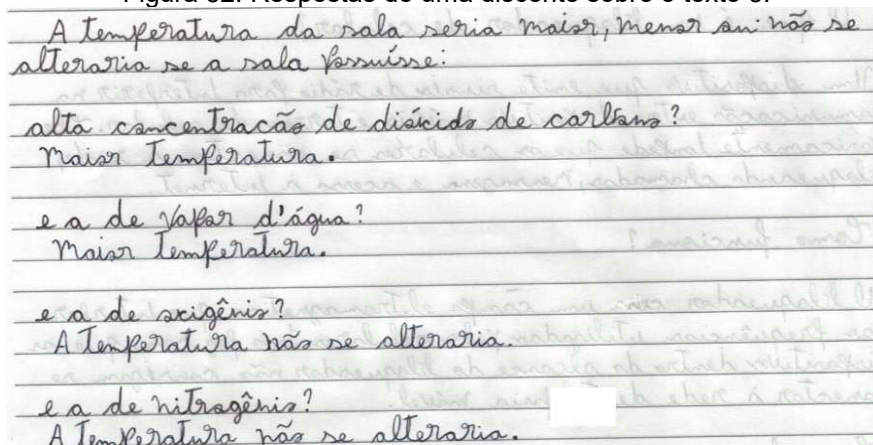
“A água ferveu por conta da “velocidade” do pente que estava fazendo uma onda de calor. Pode-se dizer, que foi por causa da agitação do pente.”

“Porque atingiu uma frequência do micro-ondas que fez a água entrar no estado de ebulição.”

Outra situação indica o pente eletrizado sendo agitado no intervalo de frequência da radiação infravermelha e os estudantes comentam parecer existir uma fogueira queimando na sala de aula. Nessa circunstância, o texto pergunta se a temperatura da sala seria maior, menor ou não se alteraria se a sala tivesse alta concentração de dióxido de carbono. Ao mesmo tempo, questiona se os gases fossem oxigênio e nitrogênio. Novamente, apresentamos as repostas dos estudantes em sala de aula, conforme transcrição a seguir e figura 52.

“A temperatura da sala alteraria se possuísse alta concentração de dióxido de carbono.”

Figura 52. Respostas de uma discente sobre o texto 3.



A temperatura da sala seria maior, menor ou não se alteraria se a sala possuísse:

alta concentrações de dióxido de carbono?
Mais Temperatura.

e a de vapor d'água?
Mais Temperatura.

e a de oxigênio?
A Temperatura não se alteraria.

e a de nitrogênio?
A Temperatura não se alteraria.

Fonte: Arquivo do autor (2024).

Nesta situação em que o pente com carga elétrica atinge a frequência da infravermelha, a primeira discente (transcrição acima) focou sua resposta apenas no que aconteceria no ambiente se houvesse aumento do dióxido de carbono, gás de efeito estufa foco desse produto. Já a segunda discente, figura 52, organizou suas respostas separadamente, destacando o que ocorreria em cada caso, ou seja, com maior concentração de dióxido de carbono e maior concentração de oxigênio ou nitrogênio.

As duas atividades selecionadas mostram indícios de uma aprendizagem alcançada pelos estudantes, de forma significativa, ao analisar situações análogas às que ocorrem na atmosfera entre os gases que a compõe e as radiações incidentes sobre esses gases.

7.3 PERGUNTAS PROPOSTAS AOS ESTUDANTES DURANTE AS AULAS

Com o intento de prosseguir o conteúdo partindo de respostas dos estudantes diante de situações elencadas, foram apresentadas duas questões à turma. A primeira levantou a discussão de qual noite é mais gelada, uma noite de céu limpo ou de céu nublado.

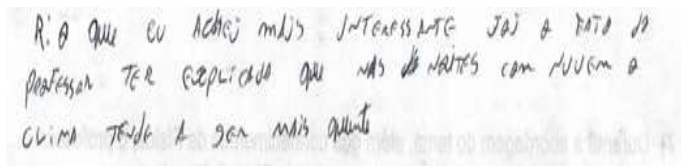
O debate sobre essa questão transcorreu de forma oral. Os educandos divergiram em suas respostas: uma parte da turma diz ser a noite de céu limpo, outra parte diz ser de céu nublado e outra parte não se manifestou. No entanto, mesmo os alunos que manifestaram a resposta correta não se mostraram convictos no momento. Após observar a simulação do efeito estufa e assistir ao vídeo **“como os gases de efeito estufa realmente funcionam”**, os estudantes mostraram suas conclusões acerca da situação. Seguem alguns dos comentários expostos pelos discentes e algumas respostas da avaliação da UEPS. Para melhor compreensão, transcrevemos também as respostas da avaliação da UESP, apresentadas nas figuras 53 e 54.

“Eu havia respondido, professor, que a noite com nuvens seria mais fria, mas com o que foi mostrado no vídeo e com essa simulação, percebi que é ao contrário.”

“Eu achei que seria a noite de céu limpo, mas não falei com certeza, foi só achismo mesmo, mas agora entendi que a noite nublada é menos fria.”

“Eu entendi que os gases de efeito estufa captam a radiação ajudando a não resfriar muito a Terra como acontece na Lua.”

Figura 53. Resposta da avaliação da UEPS

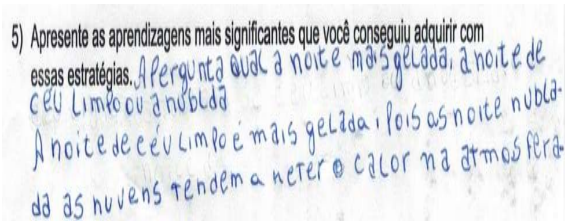


R. O que eu achei mais interessante foi o fato do professor ter explicado que nas noites com nuvens o clima tende a ser mais quente.

“O que eu achei mais interessante, foi o fato do professor ter explicado que nas noites com nuvens o clima tende a ser mais quentes.”

Fonte: Arquivo do autor (2024).

Figura 54. Resposta da avaliação da UEPS.



5) Apresente as aprendizagens mais significativas que você conseguiu adquirir com essas estratégias. A pergunta qual a noite mais gelada, a noite de céu limpo ou a nublada. A noite de céu limpo é mais gelada, pois as noites nubladas as nuvens tendem a reter o calor na atmosfera.

“A pergunta qual noite mais gelada, a noite de céu limpo ou a noite nublada. A noite de céu limpo é mais gelada, pois as noites nubladas as nuvens tendem a reter o calor na atmosfera.”

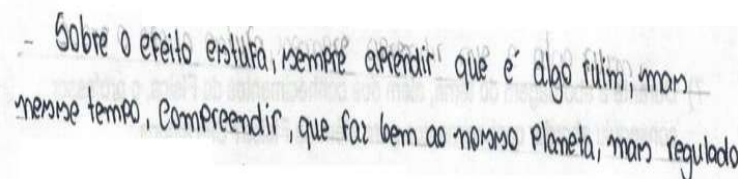
Fonte: Arquivo do autor (2024).

A segunda pergunta consiste em saber dos estudantes se o efeito estufa é algo bom ou ruim. Muitos discentes comentaram a questão e quase todos disseram, convictos, ser algo ruim. Alguns disseram estar em dúvida e não opinaram inicialmente. Entretanto, com a exibição dos vídeos e a simulação sobre esse assunto, os alunos perceberam a importância do efeito estufa e reformularam suas concepções sobre esse fenômeno, como podemos ver abaixo na transcrição das falas de alguns estudantes e algumas respostas da avaliação da UEPS apresentadas nas figuras 55 e 56, bem como em suas transcrições ao lado.

“A gente sempre ouviu que o problema do aquecimento era por causa do efeito estufa, então pensamos que esse efeito era ruim para o planeta.”

“Agora entendemos que o efeito estufa é importante não permitindo que toda radiação vá para o espaço evitando que tenham noites muito frias.”

Figura 55. Resposta da avaliação da UEPS

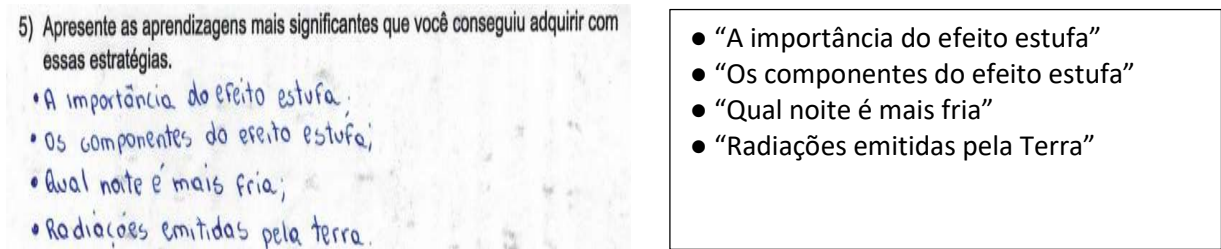


- Sobre o efeito estufa, sempre aprendi que é algo ruim, mas nesse tempo, compreendi, que faz bem ao nosso planeta, mas regulado

“Sobre o efeito estufa, sempre aprendi que é algo ruim, mas nesse tempo, compreendi que faz bem ao nosso planeta, mas regulado.”

Fonte: Arquivo do autor (2024).

Figura 56. Resposta da avaliação da UEPS.



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Como podemos ver nas figuras 55 e 56 e nas transcrições acima, os estudantes destacam agora o conhecimento sobre a importância do efeito estufa para o equilíbrio térmico do planeta, diferentemente do que eles entendiam antes da implementação da UEPS.

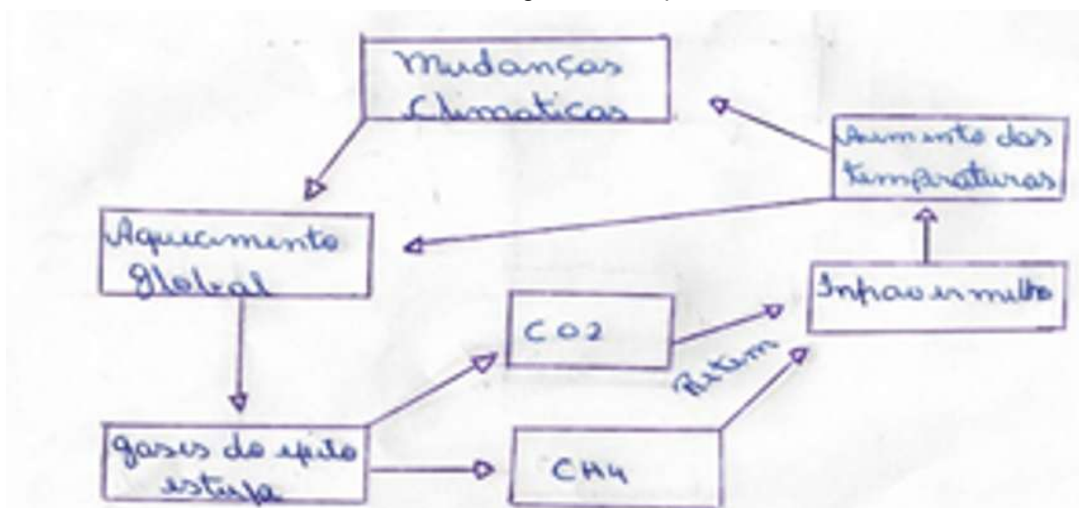
Além dos relatos e das repostas exibidas acima, a avaliação final da aprendizagem, conforme veremos mais adiante, mostram evidências da consolidação das aprendizagens pelos estudantes, de forma significativa e crítica, acerca dos princípios físicos básicos do efeito estufa e sua implicação para o clima do planeta.

7.4 OS MAPAS CONCEITUAIS

Mapas conceituais são diagramas com conceitos apresentando relações entre eles, de forma que os conceitos mais relevantes ocupem uma posição central ou superior em relação aos conceitos mais secundários. Porém, de acordo Moreira (1998), não há regras gerais fixas para o traçado de mapas de conceitos. O importante é que o mapa seja um instrumento capaz de evidenciar significados atribuídos a conceitos e relações entre conceitos no contexto de um corpo de conhecimentos.

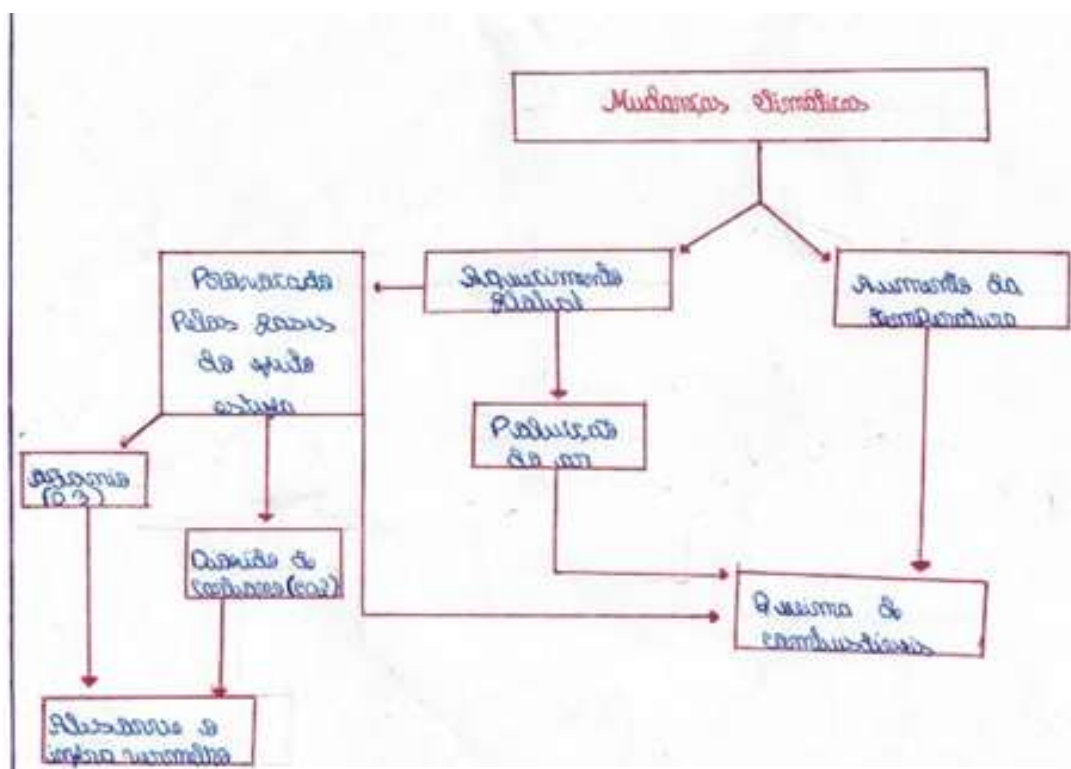
Seu uso não se restringe apenas a uma funcionalidade, sendo um recurso viável em diferentes situações, entre elas, a avaliação da aprendizagem (Moreira 2013, p. 32). Nessa perspectiva, foi proposta, como uma das atividades avaliativas, a confecção de mapas conceituais considerando o tema mudanças climáticas. Cada estudante elaborou um mapa conceitual apresentando os conceitos mais gerais dos princípios físicos presentes no clima e suas relações com os fenômenos climáticos extremos. Alguns desses mapas foram selecionados para compor este trabalho e são apresentados abaixo, nas figuras 57, 58, 59 e 60, para análise da compreensão dos educandos acerca do assunto, bem como na identificação de uma aprendizagem significativa e crítica sobre o assunto.

Figura 57. Mapa conceitual 1



Fonte: Arquivo do autor (2024)

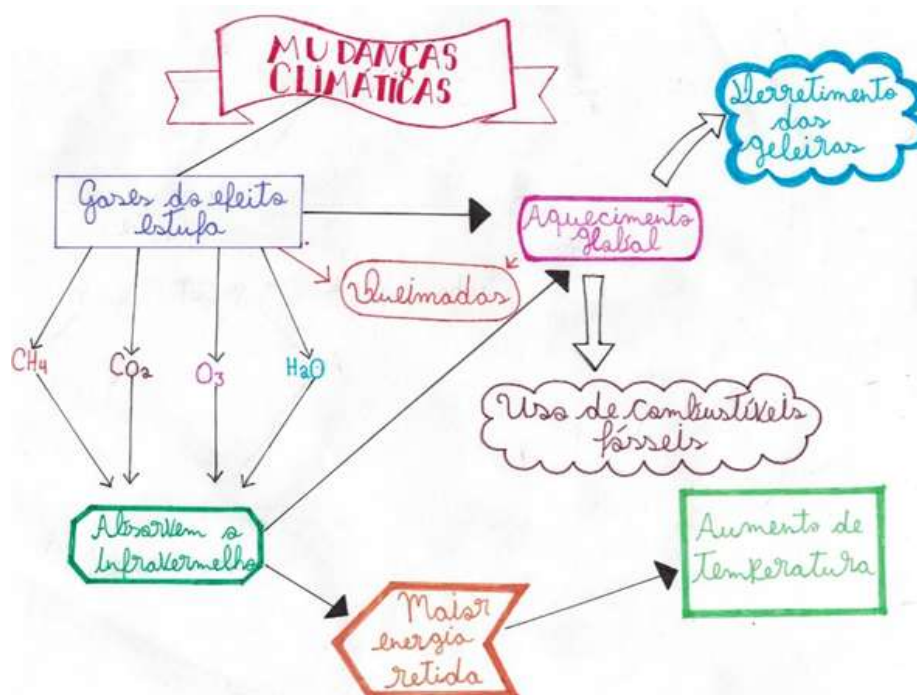
Figura 58. Mapa conceitual 2



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Os mapas 1 e 2 acima (figuras 57 e 58) mesmo sucintos, apresentam os conceitos mais relevantes associados ao tema, relacionados entre si hierarquicamente, evidenciando aprendizagem com significados pelas discentes que os elaboraram, pois relacionam as mudanças do clima com o aumento das temperaturas, aquecimento global associado aos gases de efeito estufa e a absorção da radiação infravermelha por esses gases. O mapa conceitual 2, figura 58, ainda faz

Figura 60. Mapa conceitual 4



Fonte: Arquivo do autor (2024)

Os mapas 3 e 4, figuras 59 e 60, são mais abrangentes, destacando outros conceitos relacionados às mudanças climáticas. O mapa 3, além dos conceitos da Física e ações antrópicas correlacionadas às mudanças climáticas, elenca ações para mitigar a concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera. Observa-se que o estudante, nesse caso, transcendeu seu pensamento para além dos conteúdos específicos. O mapa 4, figura 60, assim como os mapas 1 e 2 nas figuras 57 e 58, relaciona os conceitos mais implicantes na mudança do clima, acrescentando a diminuição das geleiras. Ambos os resultados esboçam uma aprendizagem que vai para além das fronteiras de um componente curricular. Concomitantemente, interrelacionam diferentes componentes e conhecimentos concatenados aos princípios físicos do clima e suas mudanças.

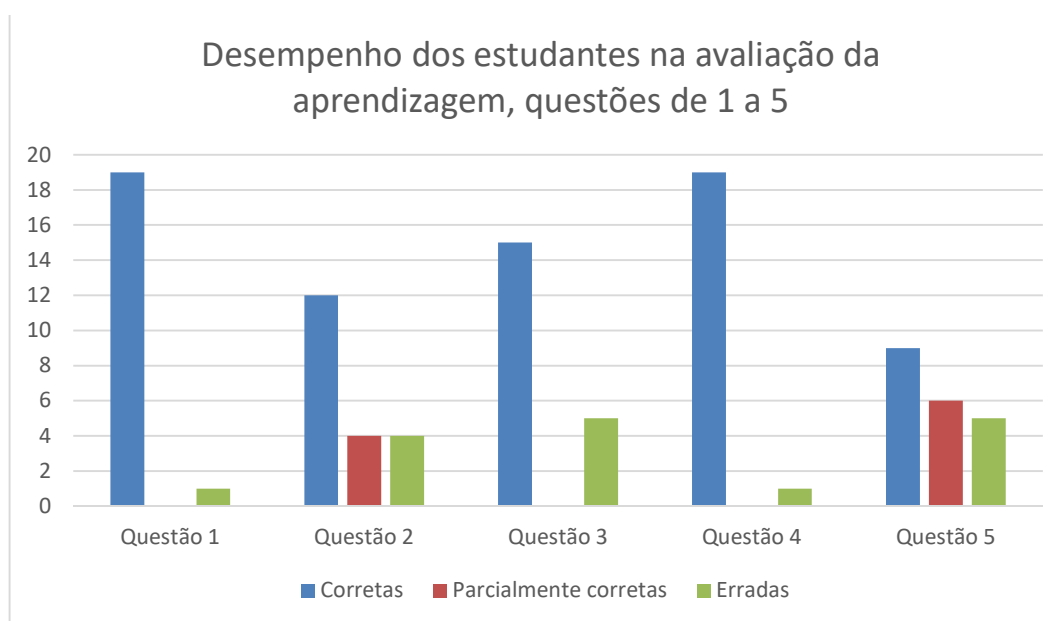
7.5 AVALIAÇÃO FINAL DA APRENDIZAGEM

A avaliação da aprendizagem é um processo que ocorre em cada etapa da implementação da UEPS, observando em cada atividade a evidência de uma aprendizagem significativa. No entanto, Moreira (2012, p. 5), salienta que deve haver uma avaliação individual e somativa, com questões ou situações que indiquem compreensão, captação de significados ou capacidade de transferência. Para tal

propósito realizou-se uma atividade composta por 11 questões, com questões discursivas e de múltipla escolha. Apresentamos, na sequência, um registro dos resultados observados após a aplicação da atividade.

Na data da avaliação havia 18 dos 21 estudantes da turma, outros dois responderam em uma segunda data e um deles não realizou essa última tarefa. O desempenho dos estudantes nessa atividade estão expostos em forma de diagrama, figuras 61 e 62. Para essa análise, consideramos o número de repostas “corretas” em cada questão, o número de respostas parcialmente corretas nas questões abertas, e o número de respostas incorretas.

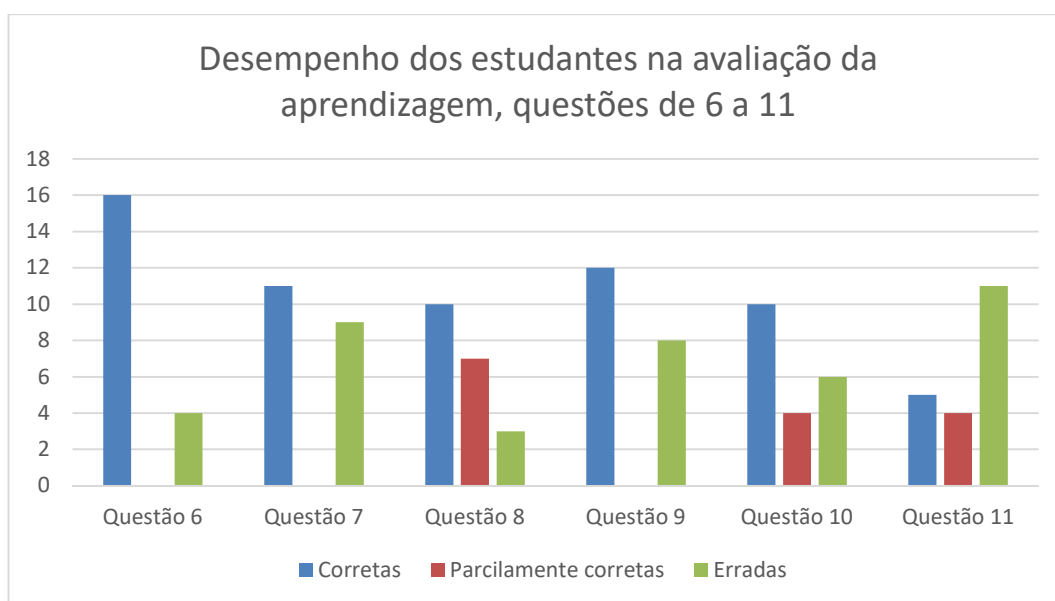
Figura 61. Resultado das questões de 1 a 5 da avaliação final



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Figura 62. Resultado das questões de 6 a 11.

Figura 62. Resultado das questões de 6 a 11 da avaliação final



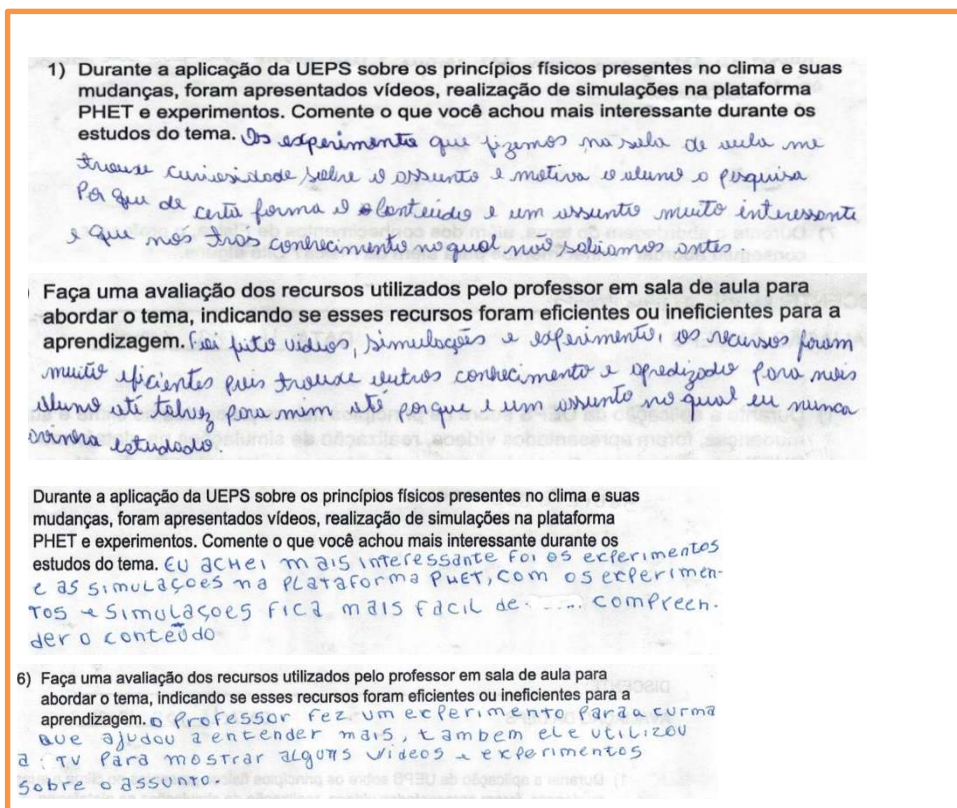
Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Dentro da análise dos resultados, apenas duas dentre as onze questões apresentaram um nível de acertos abaixo da metade dos estudantes. No entanto, em quase todas as questões, o número de respostas corretas supera o número de respostas incorretas ou parcialmente corretas, pois a maioria dos estudantes obteve resultado positivo em suas respostas nessas questões, indicando uma compreensão do assunto discutido nas aulas, logrando uma aprendizagem mais significativa.

7.6 O EXPERIMENTO

Durante a etapa cinco foi realizado juntamente com os estudantes um experimento, conforme apresentado na descrição das atividades, com o propósito de mostrar para os discentes a importância da concentração do gás carbônico no ar. A realização do experimento despertou muito a atenção dos educandos, pois os mesmos encontravam-se ansiosos para presenciarem este momento, sendo uma das atividades consideradas mais positivas pelos estudantes, conforme pode ser observado na figura 63 abaixo, que apresenta algumas respostas dos estudantes no questionário de avaliação da UEPS.

Figura 63. Respostas dos discentes sobre o experimento na avaliação da UEPS



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

As respostas dos estudantes, apresentadas na figura 63 acima, avaliando a UEPS, os recursos e atividades realizadas, foram transcritas abaixo, para melhor visibilidade do leitor.

“O experimento que fizemos na sala de aula, nos trouxe curiosidade sobre o assunto e motivo o aluno a pesquisa, porque, de certa forma, o conteúdo é um assunto muito interessante, que nos traz conhecimento, no qual não sabíamos antes.”

“Foi feito vídeo, simulações e experimento. Os recursos foram eficientes, pois trouxeram outros conhecimentos e aprendizado para nós alunos, até, talvez, para mim, até porque é um assunto, o qual eu nunca tinha estudado.”

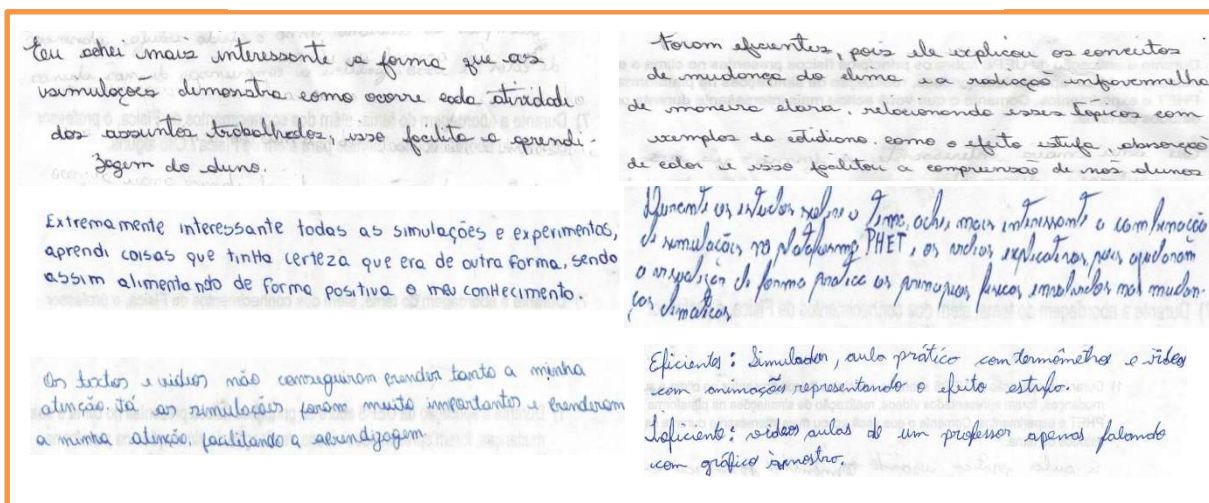
“Eu achei mais interessante foram os experimentos e simulações na plataforma Phet. Com os experimentos e simulações fica mais fácil compreender o conteúdo.”

“O professor fez um experimento para a turma que ajudou a entender mais. Também ele utilizou a TV para mostrar alguns vídeos e experimentos sobre o assunto.”

7.7 QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA UEPS

Ao finalizar a implementação da UEPS, foi passado para os estudantes um questionário permitindo que os discentes comentassem o que foi mais marcante para eles, suas aprendizagens durante o estudo do tema, análise da eficiência ou ineficiência dos recursos e estratégias do professor. A atividade é composta por oito questões, sendo algumas abertas, possibilitando os discentes expressarem suas opiniões sobre o que foi mais interessante e suas aprendizagens alcançadas. Outras questões são de múltipla escolha, com o propósito de avaliar os recursos e estratégias. Algumas respostas apresentadas pelos estudantes estão expostas na figura 64 e a transcrição de cada resposta está logo abaixo da figura. O questionário encontra-se no material de apoio para o professor, no final deste trabalho.

Figura 64. Respostas dos discentes na avaliação da UEPS



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

“Eu achei mais interessante a forma que as simulações demonstram como ocorre cada atividade dos assuntos trabalhados, isso facilita a aprendizagem do aluno.”

“Extremamente interessante todas as simulações e experimentos. Aprendi coisas que tinha certeza que era de outra forma, sendo assim, alimentando de forma positiva o meu conhecimento.”

“Os textos e vídeos não conseguiram prender tanto a minha atenção. Já as simulações foram muito importantes e prenderam minha atenção, facilitando a aprendizagem.”

“Foram eficientes, pois ele explicou os conceitos de mudança do clima e a radiação infravermelha de maneira clara, relacionando esses tópicos com exemplos

do cotidiano, como efeito estufa, absorção de calor, e isso facilitou a compreensão, de nós alunos.”

“Durante os estudos sobre o tema, achei mais interessante a combinação de simulações na plataforma Phet e os vídeos explicativos, pois ajudaram a visualizar de forma prática os princípios físicos envolvidos nas mudanças climáticas.”

“Eficientes: simulador, aula prática com termômetro e vídeos com animações representando o efeito estufa. Ineficiente: vídeo aula de um professor apenas falando com gráfico amostra.”

Conforme as respostas transcritas acima, podemos perceber que os estudantes foram praticamente unânimes quanto às simulações no *PhET* como um dos pontos mais positivos para compreensão do assunto. A realização do experimento foi outro ponto muito considerado como positivo pelos educandos. A forma como foi desenvolvida a sequência também agradou, de acordo com o relato da turma, e os vídeos apresentados, considerados como um reforço para a aprendizagem, com exceção de dois alunos que relataram que um dos vídeos não despertou muita atenção e concentração. Destacaram, porém, as simulações e o experimento como importantes para a aprendizagem.

De modo geral, a turma considerou a sequência como a UEPS foi implementada, assim como os recursos e estratégias utilizados, positiva para a aprendizagem construída, evidenciando a viabilidade da UEPS para trabalhar os princípios físicos do clima e os gases de efeito estufa.

Após o encerramento da aplicação da UEPS, a escola realizou uma feira de ciências, com exposição de trabalhos e experimentos realizados em sala de aula. No ensejo, uma parte da turma confeccionou e apresentou um cartaz para os demais estudantes da escola no turno matutino, abordando os estudos realizados em sala de aula acerca dos princípios físicos do clima. A seguir, na figura 65, temos a imagem do material produzido e apresentado pelos discentes.

Figura 65. Exposição de trabalhos na escola



Fonte: Arquivo do autor (2024)

Este momento oportunizou aos estudantes, não somente esclarecerem aos demais discentes da escola a respeito dos princípios físicos presentes no clima, mas demonstrarem os conhecimentos alcançados sobre esse tema durante a implementação da UEPS. Isso reforçou mais uma vez as evidências de uma aprendizagem significativa e crítica e a importância de explorar outras ferramentas de ensino e formas de avaliação da aprendizagem. Este momento demonstrou uma aprendizagem e domínio do assunto ainda maior que as atividades e questionários realizados em sala, apontando a solidez do produto implementado em sala de aula.

8.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração, implementação e avaliação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, a partir da análise dos resultados, permite avaliar que a aplicação dessa sequência de ensino estruturada nas teorias da Aprendizagem Significativa e Aprendizagem Significativa Crítica, com uma abordagem transdisciplinar, proporcionou maior engajamento e dedicação dos educandos com o assunto, despertando maior expectativa dos mesmos quanto à aprendizagem dos conteúdos e evolução do conhecimento dos estudantes sobre o tema durante os estudos realizados.

Quanto à transdisciplinaridade, é importante ressaltar que a ação transdisciplinar está na postura do docente de transcender ao limite do disciplinar. Mesmo uma proposta elaborada com tais objetivos, só será transdisciplinar se o professor tiver essa consciência e assumir esse posicionamento ao abordar o conteúdo em sala de aula.

Os recursos e estratégias utilizados, com destaque para os simuladores virtuais, são apontados pelos estudantes como positivos para facilitar a compreensão dos fenômenos e princípios físicos do clima, possibilitando perceber, de forma prática, os fenômenos físicos concernentes ao clima.

A realização da pesquisa aponta ser de suma importância o estudo do tema mudanças climáticas na formação básica do cidadão, pois a realidade global contemporânea encontra-se mergulhada em discussões a respeito desse assunto e ainda há muitas dúvidas, equívocos e negacionismos acerca dessas mudanças e o papel do ser humano nesse contexto. Além disso, ficou evidente durante a aplicação da UEPS, o equívoco que existia no entendimento dos estudantes a respeito da importância dos gases de efeito estufa no equilíbrio do clima na Terra.

Embora o produto aqui apresentado não seja o único modelo para abordar conteúdos de Física relacionados ao clima, ele enseja de forma única essa abordagem relacionada aos gases de efeito estufa e as ações antrópicas numa perspectiva transdisciplinar. Além disso, sua aplicação mostrou-se um produto viável para abordar o tema, possibilitando explorar diversos assuntos, recursos e estratégias na abordagem de conteúdos de Física. Entende-se que esta proposta não somente auxilia em uma aprendizagem mais significativa, crítica e transdisciplinar, mas oportuniza o estudo de conteúdos da Física fundamentais na compreensão do mundo atual, que na maioria das vezes são relegados pelos modelos tradicionais de ensino

e falta de tempo dos professores para trabalharem tais conteúdos em sala de aula, além de proporcionar discussões e aprendizagens que transpõem o conteúdo e conhecimentos específicos do componente curricular.

Destacamos que o produto aplicado foi restrito a uma única turma da escola, devido ao curto intervalo de tempo de um mestrado para tal pesquisa. Obviamente, a pesquisa pode ser implementada para outros grupos de estudantes, abrangendo um público maior, em diferentes localidades, com outras realidades e perspectivas, ensejando novos resultados, pois, na ciência, todo modelo é susceptível de evolução, o que não significa que tal modelo não seja eficiente, capaz de lograr bons resultados. Dessa forma, a UEPS elaborada e implementada pode auxiliar professores e estudantes a lograrem uma aprendizagem significativa e crítica de conteúdos da Física relacionados aos princípios físicos presentes no clima e suas mudanças.

9.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRHENIUS, Svante. Sobre a influência do ácido carbônico do ar na temperatura do solo. **Philosophical Magazine and Journal of Science Series 5**, Volume 41, April 1896, pages 237-276.

ALVIM, Mariana. **Eunice Foote: a feminista que descobriu o efeito estufa e foi esquecida, agora homenageada pelo google**. BBC News, março de 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cqv816ewjx7o>. Acesso em 02 de dezembro de 2024.

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9ª ed. Bookman, 2013.

BLACK, J. F. **O efeito estufa**. Exxon empresa de pesquisa e engenharia. Ref. No: 78PR 461, junho de 1978.

BONADIMAN, Helio; NONENMACHER, Sandra E. B. O gostar e o aprender no ensino de Física: uma proposta metodológica. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 24, n. 2: p. 194-223, ago. 2007.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

COSTA, Luciano Gonçalves; BARROS, Marcelo Alves. **O ensino da Física no Brasil: problemas e desafios**. Grupo de Trabalhos – Formação de Professores e Profissionalização Docente. PUCPR, outubro de 2015.

DARTORA, César Augusto. **Teoria do campo eletromagnético e ondas**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

DA CONCEIÇÃO, Mônica Santos; MENDES, THIAGO de A; MUNIZ, Eagles. **Conceitos básicos sobre mudanças do clima: causas, mitigação e adaptação**. Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2012.

DA SILVA, Tânia Aline Varela. **Física do Aquecimento Global: uma proposta interdisciplinar para o ensino de espectro eletromagnético**. Universidade Federal de Santa Catarina – Araranguá, 2021.

DE SOUZA, Nadia Aparecida; BORUCHOVITCH, Evely. Mapas conceituais: estratégia de ensino/aprendizagem e ferramenta avaliativa. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v. 26, nº 03, p. 195 – 218, dez. 2010.

DUARTE, D.; RUFINO H. L.; NAKAMOTO, P. **Tecnologia na educação: desafios e competências para docentes em uma sociedade digital**. GETEC, vol. 20, p. 74 - 87, 2024.

EISBERG, Robert; RESNICK Robert. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 23ª triagem. CAMPUS, 1979.

GÓMEZ, J. M. Rodríguez; CARLESSO, F; VIEIRA, L. E; DA SILVA, L. A Irradiância Solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 40, 2018.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S. **Física**, vol. 3. 4ª ed. LTC, 1996.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 11ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

HOWLETT, Joseph. Físicos identificam a origem quântica do efeito estufa. **Ciência do Clima**, agosto de 2024. Disponível em:

<https://www.quantamagazine.org/physicists-pinpoint-the-quantum-origin-of-the-greenhouse-effect-20240807/>. Acesso 02 de dezembro de 2024.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

LITTO, Fredric M; NICOLESCU, Basarab; PINEAU, Gaston; MATURANA, Humberto; RANDOM, Michel; TAYLOR, Paul. **Educação e transdisciplinaridade**. São Paulo, 2000.

MARTINS, Sabrina Oliveira; SERRÃO, Caio Renan Goes; SILVA, Maria Dulcimar de Brito; DOS REIS, André Silva. O uso de simuladores virtuais na Educação Básica: uma estratégia para facilitar a aprendizagem nas aulas de Química. **Revista Ciências e Ideias**, vol. 11. Nº1, 2020.

MEDEIROS, Rozélia; SCABIN, Denise. Efeito estufa. **Portal de Educação Ambiental**, 24 de março de 2023.

MEIRELES, Rodrigo Fernandes. **O desafio da transdisciplinaridade na contemporaneidade**. IFCE.

MOREIRA, M. A; MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, Marco A. **Aprendizagem Significativa Crítica**. Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.

MOREIRA, M.A. Grandes desafios para o ensino da Física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física**. Brasília, vol. 1, n. 1, 2017.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e diagramas V**. Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

MOREIRA, M. A. **O mapa conceitual como instrumento de avaliação da aprendizagem**. Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1984.

MOREIRA, M. A. **Subsídios metodológicos para o professor pesquisador em ensino de ciências. Pesquisa em ensino: aspectos metodológicos**. Porto Alegre, Brasil, 2009.

MOREIRA, M. A. **Subsídios metodológicos para o professor pesquisador em**

ensino de ciências. Pesquisa em ensino: métodos qualitativos e quantitativos. Porto Alegre, Brasil, 2009.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: A teoria da aprendizagem significativa.** Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2009.

MOREIRA, M. A. **Unidades de ensino potencialmente significativas UEPS** – Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2012.

MORIN, Edgar. **Educação e complexidade: os sete saberes e outros ensaios.** 4ª ed. p. 53 – 59, São Paulo: Cortez, 2007.

NICOLESCU, Basarab. **O Manifesto da Transdisciplinaridade.** Triom: São Paulo, 1999.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica: eletromagnetismo**, vol. 3. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

ORTIZ, Joseph D; JACKSON, Roland. Compreendendo os experimentos de Eunice Foote de 1856: absorção de calor pelos gases atmosféricos. **The Royal Society**, agosto de 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsnr.2020.0031>. Acesso em 02 de dezembro de 2024.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS DO CLIMA - IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Geneva: IPCC, 2015. 151 p. Disponível em: < <http://ar5-syr.ipcc.ch/>>. Acesso em: 6 dez. 2015.

PALANDI, Joecir; FIGUEIREDO, Dartanhan Baldez; DENARDIN, João Carlos; MAGNAGO, Paulo Roberto. **Física Moderna.** Universidade Federal de Santa Maria - Departamento de Física - Grupo de Ensino de Física, Santa Maria – RS, 2010.

PEIXOTO, Cleiliane Sisi; RODRIGUES, Núbia Maria Nunes. O uso de simuladores virtuais na Educação Básica para o ensino de Física no Brasil: uma revisão integrativa. **Revista Educação Pública**, Rio de Janeiro, v. 24, nº32, 3 de setembro de 2024. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/24/32/o-uso-de-simuladores-virtuais-na-educacao-basica-para-o-ensino-de-fisica-no-brasil-uma-revisao-integrativa>. Último acesso: 01 de novembro de 2025, às 20 h.

Pereira, Virgínia F. Ferreira. **Dióxido de carbono e clima.** Faculdade de Ciências – Universidade de Lisboa, 2023.

ROBERTI, Débora Regina. **Física da Atmosfera.** Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Ciências Naturais e Exatas – Curso de Graduação em Física, 2013.

ROLAND, Jakcson. Eunice Foote, John Tyndall e uma questão de prioridade. **The Royal Society**, 13 de fevereiro de 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsnr.2018.0066>.

SANTOS, Akiko. **Complexidade e transdisciplinaridade em educação: cinco princípios para resgatar o elo perdido.** Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Laboratório de Estudos e Pesquisas Transdisciplinares, 2008.

SHINE, Keith P.; PERRY, Georgina E. Forçamento radioativo devido ao dióxido de carbono decomposto em suas bandas vibracionais componentes. **Quarterly Journal**

of the Royal Meteorological Society, 17 de maio de 2023.

STRINGASCI, Mirian Denise. **A Radiação do Corpo Negro e sua influência sobre os Estados dos Átomos**. Universidade de São Paulo – Instituto de Física de São Carlos, 2011.

TIPLER, Paul A. **Física: eletricidade e magnetismo, ótica**. Vol. 2, 4ª ed. LTC, 1999.

TOMASONI, Marco Antonio; TOMASONI, Kên Rodrigues. **Atmosfera em transformação: o ozônio e os CFCs, certezas e incertezas**. Disponível em: <http://www.geoambiente.ufba.br/OZONIO.pdf>. Acesso 04 de novembro de 2023.

VILLATE, Jaime E. **Teoria Eletromagnética**. Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto – 2015.

WORDSWORTH, R; SEELEY, J. T; SHINE, K. P. Fermi Resonance and the Quantum Mechanical Basis of Global Warming. **The Planetary Science Journal**, 5:67 (10pp), 2024 March.

Anexos

TERMO DE CONSENTIMENTO E ANUÊNCIA DO GESTOR

Maetinga – BA, 09 de julho de 2024

Eu Ernande Oliveira Souza, discente do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) do Programa de Pós-Graduação na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, estarei desenvolvendo Produto educacional, Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), com o título “o rádio a antena e os gases de efeito estufa: uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para um estudo transdisciplinar dos princípios físicos presentes no clima e suas mudança”, no Colégio Estadual Edvaldo Flores – Maetinga - BA, tendo como orientador Prof. Dr. Luizdarcy de Matos Castro. Sendo que as UEPS estão vinculadas às atividades educacionais e consistem num encadeamento de etapas ligadas entre si e têm sido cada vez mais utilizadas como recursos para o ensino com o objetivo de facilitar a aprendizagem. Fugir da abordagem tradicional, como estratégia de ensino, é cada vez mais comum na educação como recurso pedagógico para tornar o ensino dinâmico, atrativo e motivador. Caso necessite esclarecer alguma dúvida em relação ao estudo estou à disposição para prestar quaisquer esclarecimentos. Se vossa senhoria estiver de acordo, posso garantir que as informações fornecidas serão confidenciais, e os dados utilizados apenas para fins de análises científicas.

Eu _____ fui esclarecido(a) sobre a pesquisa citada acima e concordo que estes dados sejam utilizados na realização da mesma, considerando seu mérito e caráter científico.

Assinatura do Responsável

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, Ernande Oliveira Souza, discente do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, gerido pela Sociedade Brasileira de Física – SBF, realizarei um projeto de ensino como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Ensino de Física, intitulado **O Rádio, a Antena e os gases de efeito estufa: uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para um estudo transdisciplinar dos princípios físicos presentes no clima e suas mudanças**, orientado pelo docente, prof. Dr. Luizdarcy de Matos Castro.

Para a sua participação, deve estar ciente de que a participação será voluntária e a identidade será tratada em sigilo. O acesso e análise das respostas serão utilizadas apenas pelo (a) pesquisador (a) e/ou orientador (a) com a sua autorização. Ao aceitar, estará de acordo em participar das atividades desenvolvidas pelo (a) pesquisador (a) durante as aulas utilizadas. A participação poderá ser interrompida durante o processo, se assim desejar.

Prof. Dr. Luizdarcy de Matos Castro
Orientador

Ernande Oliveira Souza
Discente responsável

Participante da pesquisa ou seu responsável legal

Eu, _____, residente no município de: _____ aceito participar voluntariamente da pesquisa aqui mencionada, estando ciente do anonimato, em poder desistir a qualquer momento caso seja meu desejo e de todos os tópicos livremente da minha participação, sem qualquer obrigatoriedade.

Maetinga/ BA, ____ de _____ de 2024.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu _____, CPF _____,
RG _____, aceito participar das aulas em formato de sequência didática (UEPS) e também permito a coleta de dados das produções e das ocorrências em sala de aula que serão interpretados em pesquisa para o trabalho de conclusão do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física polo 62 UESB, pelo mestrando Ernande Oliveira Souza. Tenho toda a liberdade de me recusar a participar da pesquisa bem como retirar meu consentimento a qualquer momento. Fui também esclarecido (a) de que meu nome não será divulgado nos resultados da pesquisa sendo-me garantido total confidencialidade dos dados.
Maetinga-BA, _____ de _____ de _____.

Assinatura do Participante (estudante)

Apêndices
Apêndice A: Produto Educacional



UESB
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO SUDOESTE DA BAHIA



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA – UEPS

O RÁDIO, A ANTENA E OS GASES DE EFEITO ESTUFA: UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA UM ESTUDO TRANSDISCIPLINAR DOS PRINCÍPIOS FÍSICOS PRESENTES NO CLIMA E SUAS MUDANÇAS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

DISCENTE: ERNANDE OLIVEIRA SOUZA

ORIENTADOR: PROF. Dr. LUIZDARCY DE MATOS CASTRO

COORIENTADOR: PROF. Dr. CARLOS TAKIYA

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA
JUNHO – 2024

Apresentação

O Produto Educacional descrito a seguir é parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Ensino de Física pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF. A proposta esboça uma oportunidade para professoras e professores da Educação Básica, mais precisamente do Ensino Médio, abordarem conteúdos da Física contextualizados ao atual cenário do clima do planeta. Abrange outros conhecimentos para além desse componente curricular, permeando outras áreas do saber e transcendendo cada uma delas, com a perspectiva de construir aprendizagens mais significativas e críticas, além de uma formação mais completa do indivíduo ao integrar diferentes saberes. Enseja aos educandos refletirem e agirem criticamente sobre as ações antrópicas e sua influência no clima.

Estruturado nas concepções da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1968) e a Aprendizagem Significativa Crítica proposta por Marco Antônio Moreira (2005), o produto apresenta, como problemática, de que maneira a elaboração e aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, de forma transdisciplinar, apresenta uma aprendizagem significativa e crítica sobre o estudo dos princípios físicos presentes no clima e suas mudanças, associadas aos gases de efeito estufa.

Para esta abordagem, foi construída uma UEPS com o objetivo de versar sobre alguns dos princípios físicos presentes no clima, como energia absorvida e emitida, potência de radiação, irradiância, albedo de um planeta, radiação de corpo negro, comprimento de onda máximo, temperatura de emissão espectral, interação da radiação com as moléculas dos gases da atmosfera e espectro eletromagnético. Foram explorados diversos recursos, como questionários, simuladores, textos didáticos, experimentos, vídeos, construção de mapas conceituais e aula expositiva dialogada utilizando slides, almejando a motivação e participação dos estudantes na construção do conhecimento.

No que diz respeito à transdisciplinaridade, este produto educacional enseja discutir a participação das mulheres, não somente na descoberta da ciência do clima, mas no desenvolvimento dos conhecimentos científicos em geral ao proporcionar uma discussão das descobertas de Eunice Foote comparadas às descobertas de Marie Curie, conforme as videoaulas seção 2.4 e apêndice A. Além disso, deseja abordar as ações antrópicas que emitem gases de efeito estufa, o negacionismo das mudanças climáticas e outros temas, e o estreitamento de lacunas entre conhecimentos de

outros componentes curriculares. Sob essa ótica, entende-se que o Produto Educacional representa uma ferramenta viável para expandir o ensino da Física e de alguns conteúdos relegados no modelo tradicional de ensino desse componente.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Acesso ao questionário Likert	10
Figura 2 - Ondas de rádio e campos eletromagnéticos	12
Figura 3 - Espectro eletromagnético	13
Figura 4 - Espectro eletromagnético	13
Figura 5 - Antenas emissora e receptora	14
Figura 6 - Imagens em infravermelho	16
Figura 7 - Controle remoto infravermelho	16
Figura 8 - Representação de um corpo negro	18
Figura 9 - Radiação de corpo negro	19
Figura 10 - Espectro de corpo negro	19
Figura 11 - Simulação de efeito estufa	21
Figura 12 - Simulação molécula e luz	21
Figura 13 - Efeito estufa e balanço energético	22
Figura 14 - Materiais para o experimento	23
Figura 15 - Modelo de mapa conceitual	25
Figura 16 - Mapa conceitual 1: leis da Termodinâmica	25
Figura 17 - Mapa conceitual 2: Ondulatória	26

LISTA DE GIFS

Gif 1 – Vibração da molécula de CO_2	21
Gif 2 – Vibração da molécula de CO_2	21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Questionário Likert	10
--------------------------------------	----

SUMÁRIO

1.0 Introdução	6
1.1 Objetivo geral	6
1.2 Objetivos específicos	7
2.0 Aspectos sequenciais de uma UEPS	7
2.1 Passo 1: definição do assunto	7
2.2 Passo 2: levantamento de conhecimentos prévios	8
2.3 Passo 3: situação problema em nível introdutório	11
2.3.1 Ondas de rádio	13
2.3.2 Micro-ondas	14
2.3.3 Raios infravermelhos	14
2.3.4 Luz visível	16
2.3.5 Ultravioleta	16
2.3.6 Raio X	16
2.3.7 Raios gama	16
2.3.8 Física Quântica: radiação de corpo negro	17
2.4 Passo 4: Apresentar o conhecimento a ser aprendido levando em consideração a diferenciação progressiva	19
2.5 Passo 5: retomar os aspectos gerais em nível maior de complexidade	21
2.5.1: Passo a passo para efetuar o experimento	22
2.6 Passo 6: Conclusão da UEPS	23
2.7 Passo 7: Avaliação final da aprendizagem	25
2.8 Passo 8: Avaliação da UEPS	25
3.0 Referências	26
4.0 Anexos	27
Apêndice A: Links dos mini vídeos	
Apêndice B: Outros materiais de apoio	

1.0 INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea, assim como em outras épocas, vive grandes desafios, seja no âmbito social, tecnológico, ambiental ou educacional. No âmbito escolar, os desafios são a necessidade de se adequar às novas demandas do mercado de trabalho e de um ensino mais contextualizado aos acontecimentos e realidades vivenciadas pelos estudantes. Conforme texto da BNCC (2017), a atual sociedade impõe um olhar inovador a questões centrais do processo educativo, como, o que aprender, para que aprender, como ensinar e promover aprendizagem, e como avaliar o aprendizado. O documento ainda ressalta a importância de avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta. Deste modo, a inserção do tema mudanças climáticas a partir das ações antrópicas e conteúdos de Física relacionados a esse tema é de extrema importância para a formação dos discentes nessa etapa final da educação básica.

Outro ponto fundamental que traz a importância de inserir nas escolas o assunto acerca das mudanças climáticas são as controvérsias que cercam esse tema. Dentre essas controvérsias, destacam-se as contribuições das ações antrópicas e dos gases de efeito estufa, foco deste trabalho, na intensificação de fenômenos climáticos extremos, como o aquecimento médio do planeta.

Diante de tal realidade, a Física como uma Ciência da Natureza apresenta subsídios para um estudo do clima por conter diferentes conceitos e leis aplicáveis à dinâmica do clima. Por outro lado, seu ensino carece de inovação e práticas que contribuam com uma aprendizagem significativa e não mecânica, proporcionando aos estudantes melhor percepção da importância dos conhecimentos desse componente curricular em seu cotidiano.

A UEPS apresenta uma proposta para trabalhar conteúdos de Física pertinentes aos princípios físicos do clima e suas mudanças associadas aos gases de efeito estufa. A sequência foi estruturada para turmas da 3ª série do Ensino Médio, o que não impede professores trabalharem a proposta em séries anteriores.

1.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo transdisciplinar dos princípios físicos presentes no clima e suas mudanças.

1.2 Objetivos específicos

- Apresentar os princípios físicos presentes no clima, tais como energia absorvida e emitida, potência de radiação, irradiância, albedo, radiação de corpo negro e interação da radiação com as moléculas;
- Realizar experimentos e simulações em sala de aula;
- Versar sobre o efeito dos gases da atmosfera na temperatura da Terra;
- Construir mapas conceituais, cartazes e/ou relatórios que promovam a aprendizagem significativa e transdisciplinar;
- Realizar um debate acerca dos princípios físicos do clima e as mudanças climáticas.

2.0 Aspectos sequenciais de uma UEPS

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), conforme Moreira (2012), são sequências de ensino fundamentadas teoricamente para facilitar a aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimentos a partir de situações-problema e organizadores prévios que levam em consideração aquilo que o educando já sabe. Dentro dessa proposta, os aspectos sequenciais seguem os princípios elencados para a construção de uma aprendizagem não mecânica, mas significativa, do tópico apresentado.

2.1 Passo 1: Definição do assunto

O tema a ser abordado na UEPS são os princípios físicos presentes no clima, tendo como foco a interação dos gases de efeito estufa com a radiação eletromagnética, em especial o infravermelho e o CO₂, e o aumento da temperatura média da Terra. Para isso, serão apresentados e discutidos outros conhecimentos relacionados: espectro eletromagnético, radiação de corpo negro, balanço de energia, albedo e irradiância de um planeta, dentre outros. A sequência está estruturada em 18 horas aulas, distribuídas dentro dos oito passos de uma UEPS, propostos por Moreira.

Na perspectiva da transdisciplinaridade, será percorrido um breve histórico da ciência do clima, enfatizando as contribuições das mulheres na ciência, o negacionismo científico, não somente das mudanças climáticas, mas de outros temas contemporâneos, as ações antropogênicas que acirram o efeito estufa e fenômenos naturais cada vez mais frequentes e intensos.

A abordagem desses tópicos proporcionará um estudo mais atraente e melhor

compreensão de como os gases de efeito estufa agem na atmosfera ao interagirem com a radiação e seu papel nas mudanças ocorridas no clima. Concomitantemente, permite inserir um debate sobre as ações antropogênicas e os eventos climáticos extremos, cada dia mais comuns nos noticiários.

2.2 Passo 2: Levantamento de conhecimentos prévios

Nesse passo, serão criadas e apresentadas situações que instiguem os estudantes exporem seus conhecimentos, ideias e percepções sobre o assunto e tópicos abordados. Para esse propósito, foi elaborado um questionário de múltipla escolha, modelo Likert (quadro1), utilizando o Mentimeter, para os discentes externalizarem seus conhecimentos relacionados ao tema. Além do questionário, serão trabalhados os seguintes textos didáticos como organizadores prévios: **“O extintor que vazou no carro da polícia”**; e **“O encontro do Radinho presunçoso com o oxigênio e o nitrogênio do ar”**.

Os textos podem ser acessados pelos QR code ou links abaixo.



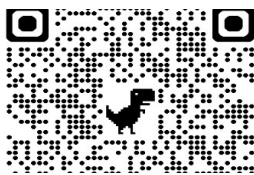
<https://drive.google.com/file/d/1BuDwwyQUnzbqLHEIjY4ijG77-NIG98OI/view?usp=sharing>



https://drive.google.com/file/d/1E1d2IYzaXt1RB5Xxm4muJBy_26zWewuL/view?usp=sharing

O resultado do questionário pode ser acessado por meio do link ou QR code ao lado.

Figura 1. Acesso ao questionário Likert



Fonte: O autor, 2024.

<https://www.mentimeter.com/app/presentation/al2r49iocq6n6c8fov2p4mi5jvjfw7h7/view?question=gfvqipfgvqyr>

Quadro 1 - Questionário de levantamento de atitudes e opiniões sobre o efeito estufa

	Discordo muito	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo muito
A ciência do clima permanece completamente incerta.					
O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é uma tentativa de dominação por parte dos cientistas.					
O IPCC recusa todo debate científico racional com cientistas opostos às suas teses.					
A popularidade das teorias do IPCC resulta de uma difusão midiática unilateral e do apoio de certos partidos e líderes de opinião.					
A ecologia é simplesmente um ataque à modernização e desenvolvimento econômico.					
O que estamos passando seria apenas um aquecimento normal do sistema terrestre, precedendo uma era de resfriamento e glaciação.					
Os invernos em muitos locais têm sido mais frios, contradizendo a ideia de aquecimento divulgada por cientistas e pela mídia.					
O CO ₂ não aumentou em função das emissões de combustíveis fósseis, desde 1750.					
A teoria do “aquecimento global causado pelo homem” se baseia em modelos ou simulações fundadas em hipóteses e aproximações.					
A imprensa não apresenta a problemática do aquecimento global com o recurso					

crítico e a imparcialidade requeridos pela deontologia jornalística.					
Houve aumento das emissões antrópicas desde a revolução industrial, oriundas da queima de combustíveis, do desmatamento e da degrada florestal.					
A preservação ambiental cada vez mais é um assunto politizado, em um mundo globalizado e cada vez mais polarizado.					
Não há evidências físicas da influência humana no clima global.					
O clima está mudando devido a ação do ser humano.					
Ok, talvez as alterações climáticas sejam reais, mas não há nada a fazer – é tarde demais.					
As alterações climáticas são naturais e normais – já aconteceram noutros momentos da história.					
Não há consenso entre os cientistas de que as alterações climáticas sejam reais.					
O Sol tem passado por uma fase mais ativa, irradiando mais calor sobre nós provocando assim um aquecimento dos Planetas inclusive a Terra.					
O aquecimento global é o maior desafio da humanidade.					
As grandes inundações do Rio Grande do Sul e as secas prolongadas na Amazônia não tem a ver com as mudanças climáticas.					
As fortes ondas de calor são consequências de uma fase mais ativa do Sol, irradiando mais calor e provocando assim aquecimento dos planetas.					

2.3 Passo 3: Situação problema em nível introdutório

Nessa etapa, serão trabalhados alguns conceitos em nível introdutório, como por exemplo, como ocorre a transmissão dos sinais de rádio e TV. Para essa abordagem será realizado a simulação do *PhET*, ondas de rádio e campos eletromagnéticos, e a leitura e discussão de situações-problemas apresentadas no texto “**O super-herói que balançava o pente carregado.**” A simulação está disponível no endereço: https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/radio-waves/latest/radio-waves.html?simulation=radio-waves&locale=pt_BR.

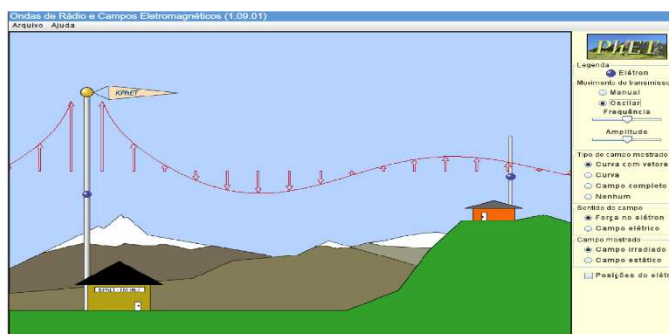
A partir da simulação (figura 2) os alunos serão estimulados a pensar como as antenas de rádio atuam na recepção das ondas eletromagnéticas geradas pelas antenas de transmissão.

Acesse o texto por meio do QR code, ou link abaixo



https://drive.google.com/file/d/1UtBzB6UI0qFqG245nl7RNWtbNfoBxvOY/view?usp=drive_link

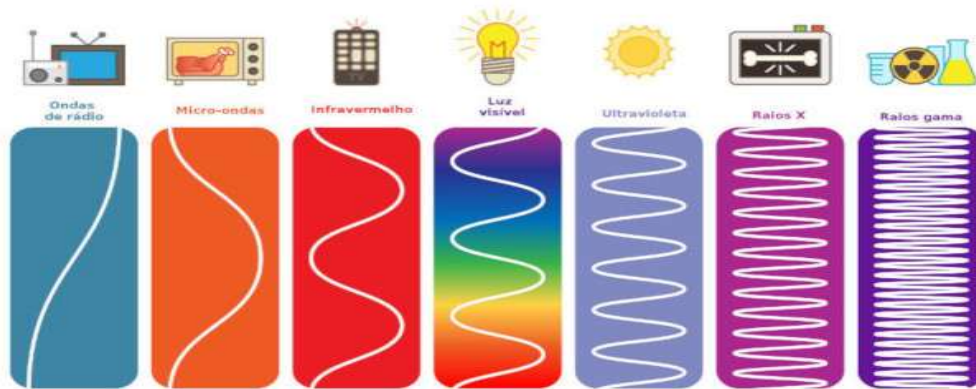
Figura 2: ondas de rádio e campos eletromagnéticos



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/radio-waves/latest/radio-waves.html?simulation=radio-waves&locale=pt_BR

Ainda nessa etapa, serão introduzidos os conhecimentos do espectro eletromagnético, suas faixas de frequência e comprimento de onda (figuras 3 e 4), corpo negro e seu espectro de radiação. A abordagem desses tópicos será efetivada com aula expositiva dialogada com apresentação em slides e uso do *PhET* simulações.

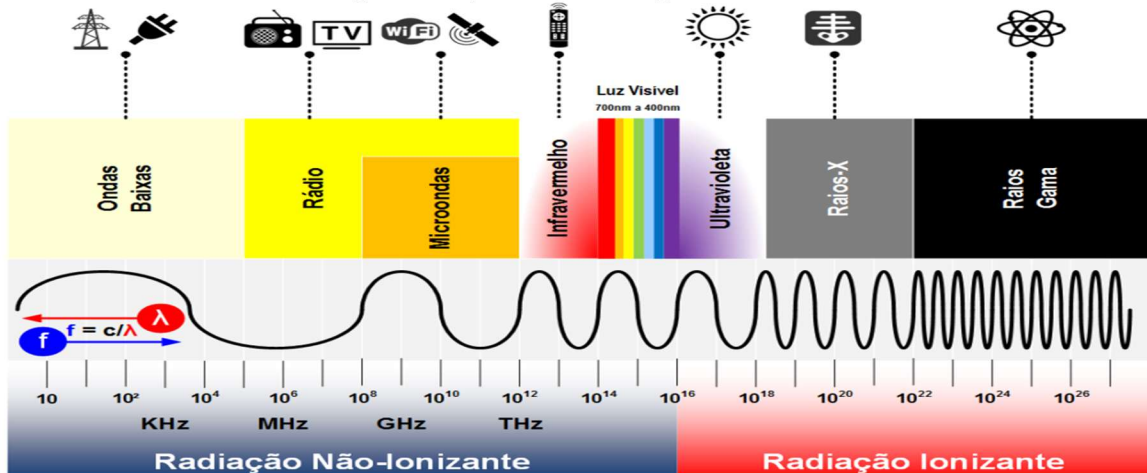
Figura 3: espectro eletromagnético



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso 08 de junho de 2024.

O Espectro eletromagnético é o intervalo de todas as frequências de ondas eletromagnéticas existentes. Geralmente, é apresentado em ordem crescente de frequências, começando pelas ondas de rádio (maior comprimento), passando pela radiação visível até a radiação gama, de maior frequência (menor comprimento de onda).

Figura 4: espectro eletromagnético



<https://adenilsongiovannini.com.br/blog/espectro-eletromagnetico/>. Acesso 28 de junho de 2024.

Para o estudo do conteúdo supracitado, foram utilizadas as seguintes referências:

- <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso em 08 de junho de 2024 às 11h40min.

- <https://sites.usp.br/nupic/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/8Texto-3-Espectro-Eletromagnetico-Parte-I.pdf>. Acesso em 08 de junho de 2024 às 15h23min.
- <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso em 08 de junho de 2024, às 15h53min.
- A Radiação do Corpo Negro e sua Influência sobre os Estados dos Átomos. Mirian Denise Stringasci, Instituto de Física de São Carlos.
- <https://sites.usp.br/nupic/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/8Texto-3-Espectro-Eletromagnetico-Parte-I.pdf>. Acesso em: 18/07/2024.

2.3.1 Ondas de Rádio

A região das ondas de rádio do espectro eletromagnético vai das ondas mais longas, cujo comprimento de onda é maior que o raio da Terra, até ondas com um comprimento de onda de um metro. As frequências correspondentes, que vão desde 3 KHz até a ordem de 3 GHz, aproximadamente, possuindo o maior intervalo de frequência do espectro eletromagnético. Essas frequências são os números que aparecem nos mostradores dos aparelhos de rádio.

As ondas de rádio têm comprimentos de onda maiores que 1 m e são produzidas a partir de oscilações de elétrons em fios de circuitos elétricos. Sua distribuição espacial pode ser controlada quando a fonte (antena por exemplo) estiver ligada a um receptor. Existem várias subdivisões das ondas de rádio como AM e FM, que representam formas diferentes de se enviar o sinal, porém todas podem se propagar a grandes distâncias na atmosfera, sendo por isso usadas em sistemas de comunicação, como na transmissão de sinais de rádio e TV.

O movimento oscilatório dos elétrons em uma antena de metal pode gerar uma onda de rádio do tipo usada em telecomunicações. A aceleração dos elétrons produz ondas eletromagnéticas, do mesmo modo que jogar uma pedra em um lago produz ondulações. Quando estas ondas encontram um outro objeto metálico (a antena receptora de um rádio, por exemplo), o campo elétrico da onda faz os elétrons do objeto oscilarem. O movimento dos elétrons constitui uma corrente elétrica que os circuitos eletrônicos de um receptor de rádio, ou um simples rádio de Galena, podem transformar em um sinal de rádio. Este sinal, por sua vez, produz uma onda sonora ao ser usado um alto-falante.

Figura 5. Antenas emissora e receptora



Rádio receptor AM e FM



Antena transmissora

Fonte: <https://sites.usp.br/nupic/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/8Texto-3-Espectro-Eletromagnetico-Parte-I.pdf>. Acessado em 08 de junho de 2024.

A onda de rádio possui a menor frequência de onda do espectro eletromagnético, na faixa de 10.000 Hz, assim, transporta pouca energia e, por consequência, possui o maior comprimento de onda, na faixa de 1000 m.

2.3.2 Micro-ondas

As micro-ondas são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre 1 mm e 1 m, com frequências compreendidas, aproximadamente, entre $3 \cdot 10^9$ Hz e $3 \cdot 10^{12}$ Hz. Os satélites transmitem sinais à Terra através de micro-ondas. As micro-ondas podem ser consideradas como ondas curtas de rádio, por isso também são usadas para transmitir sinais telefônicos e de televisão. As antenas parabólicas usadas pelos assinantes de TV via satélite e as antenas em forma de cone nas torres de retransmissão, que se veem ao longo das estradas, são antenas de micro-ondas.

As mesmas ondas usadas na telefonia, na televisão e no radar também servem para cozinhar os alimentos. Nos fornos de micro-ondas, um circuito especial faz os elétrons oscilarem (agitarem) rapidamente, gerando micro-ondas. Essas micro-ondas são guiadas para o compartimento principal do forno, que é feito de um material que espalha as micro-ondas. Assim, as ondas permanecem no interior do forno até serem absorvidas por algum objeto. Acontece que as micro-ondas são fortemente absorvidas por moléculas de água. Isto significa que a energia das micro-ondas é absorvida pela água contida nos alimentos e convertida em calor, cozinhando os alimentos.

2.3.3 Raios Infravermelhos

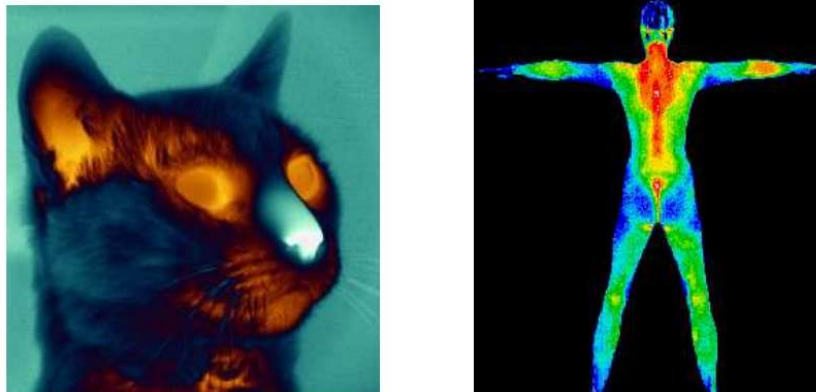
Os raios infravermelhos são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre, aproximadamente, $0,7 \mu\text{m}$ e 1 mm, com frequências desde $3 \cdot 10^{12}$ Hz até

$4,3 \cdot 10^{14}$ Hz, aproximadamente. Recebem esta nomenclatura pois têm frequência abaixo da correspondente à cor vermelha. Nossa pele, que absorve raios infravermelhos, funciona como uma espécie de detector natural para esses raios. Sentimos a presença de raios infravermelhos quando aproximamos as mãos de uma fogueira ou do elemento de um aquecedor (resistência) de ambiente.

Detectores de infravermelho são empregados para guiar mísseis na direção de aviões inimigos, aproveitando o calor das turbinas, e, também, para “ver” soldados e veículos inimigos à noite, pois essa radiação é um meio importante de efetuar “troca” de calor. Por isso, pode referir-se ao infravermelho como radiação de calor. Insetos, como mosquitos e mariposas, e outros animais noturnos, como cobras e os gambás, são sensíveis aos raios infravermelhos, o que lhes permite localizar a presa mesmo na escuridão total.

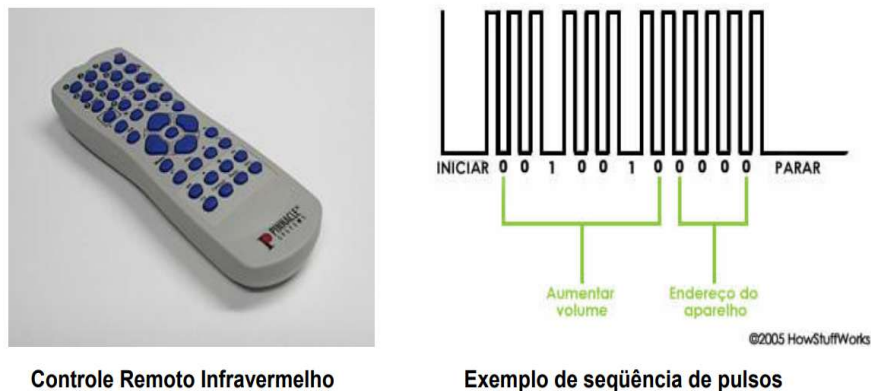
Além de poder ser utilizado para aquecer, em razão de sua capacidade de fazer com que as moléculas de um corpo vibrem, o infravermelho é utilizado para cocção de alimentos, para o aquecimento de ambientes, para a produção de sistemas de detecção de presença e movimento, sensores de estacionamento, controles remotos (figura 7) e câmeras de visão térmica (figura 6).

Figura 6. Imagens em infravermelho



Fonte: <https://sites.usp.br/nupic/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/9Texto-4-Espectro-Eletromagnetico-Parte-II.pdf>. Acesso em 02 de novembro de 2025.

Figura 7. Controle remoto infravermelho



Fonte: <https://sites.usp.br/nupic/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/9Texto-4-Espectro-Eletromagnetico-Parte-II.pdf>. Acesso em 02 de novembro de 2025.

2.3.4 Luz visível

Localizada na região do espectro visível ao olho humano, conforme figuras 2 e 3 acima, é emitida pelo Sol e outras fontes terrestres. Possui comprimento de onda na faixa de 400 a 700 nm e frequência entre 430 e 750 terahertz (THz). Por meio da liberação de fótons de luz, a luz é geralmente emitida pela transição de elétrons de um nível mais alto de energia para outro mais baixo.

2.3.5 Ultravioleta

Tem comprimentos de onda menores que a luz, entre 1 nm e 400 nm , e podem ser produzidas em transições de elétrons nas camadas mais externas dos átomos, sendo as fontes térmicas, como o Sol, o principal mecanismo de produção. Tem frequência acima do intervalo da luz entre $7,5 \cdot 10^{14}$ a $3 \cdot 10^{17}$ hertz. Como nossa atmosfera absorve grandemente comprimentos de onda nessa faixa, a maioria dessa radiação não atinge a superfície terrestre. A exposição a essa radiação pode provocar queimaduras e outras consequências graves, como o câncer de pele.

2.3.6 Raio X

Possuem comprimentos de onda entre 0,01 nm e 10 nm e frequências elevadas, entre $3 \cdot 10^{17}$ a $3 \cdot 10^{19}$ Hz. Podem ser produzidos em transições individuais dos elétrons nos níveis mais internos de um átomo quando partículas carregadas (como os próprios elétrons) são desaceleradas. Eles podem atravessar tecidos menos densos, mas são barrados pelos mais densos, como o tecido ósseo, por exemplo. Por isso, são úteis em procedimentos médicos.

2.3.7 Raios gama

São as radiações eletromagnéticas com os menores comprimentos de onda, abaixo de 10 pm . São as mais penetrantes, com frequência acima de $3 \cdot 10^{19}$ hertz. Assim como os raios X, também são cancerígenos e ainda são capazes de provocar alterações genéticas que podem ser transmitidas aos descendentes da pessoa afetada. Essa radiação pode ser emitida em transições entre estados de núcleos atômicos ou devido ao decaimento radioativo de certas partículas elementares.

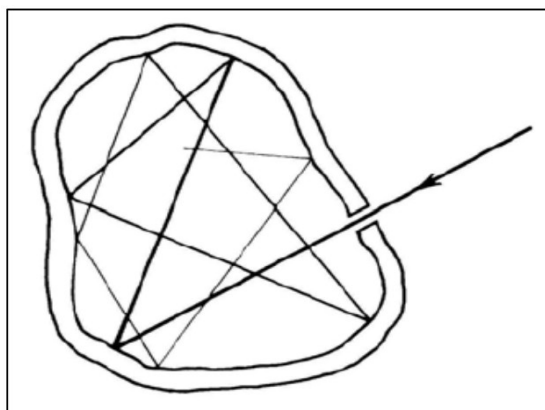
2.3.8 FÍSICA QUÂNTICA: RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO

Entre os problemas da Física que contribuíram para o surgimento da Física Moderna, está a explicação para o espectro de radiação de um corpo negro. Era preciso justificar a relação entre o aquecimento de determinados corpos e a emissão de radiação de variadas frequências.

De modo geral, os corpos emitem constantemente ondas eletromagnéticas, cujas intensidades e frequências dependem da temperatura dos corpos e da sua composição.

Um corpo negro pode ser representado por uma esfera oca que apresenta apenas um pequeno orifício em sua superfície (figura 8). A radiação incidente sobre o orifício é absorvida por ele. Essa radiação incidente é refletida seguidamente pelas paredes internas da esfera. Hipoteticamente, esses corpos possuem um espectro de radiação que não depende de sua composição, apenas de sua temperatura. “O orifício tem propriedade de um corpo negro; portanto, a radiação que está saindo por ele tem propriedades de radiação de corpo negro, mas, já que ela é meramente uma amostra da radiação que existe dentro da cavidade, podemos dizer que *a radiação dentro da cavidade tem propriedades de radiação de corpo negro*” (Stringasci, 2011).

Figura 8. Representação de um corpo negro

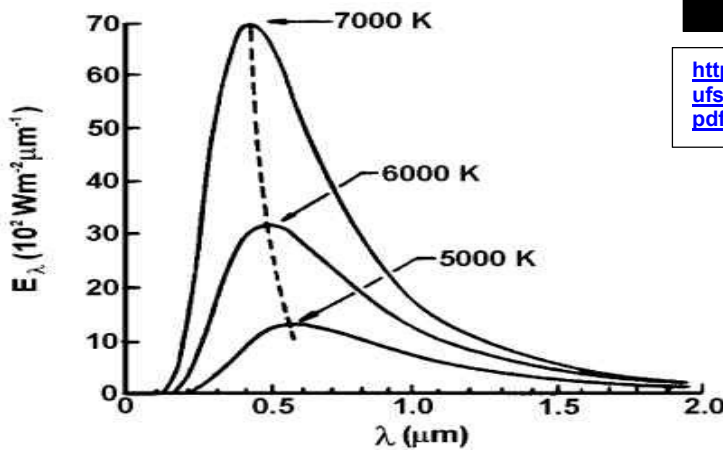


Disponível em:

<https://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2011-1%20SF15774%20Mecanicaquantica/Seminario%20-%20Mirian%20-%20Radiacao%20do%20corpo%20negro.pdf>

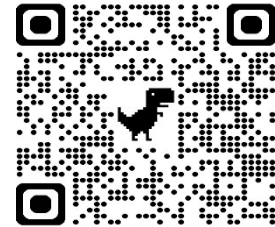
Buscava-se uma explicação para o espectro de emissão de radiação de um corpo negro de acordo a sua temperatura. Esse espectro representa as várias frequências que um determinado corpo pode emitir radiação. Um exemplo disso é o Sol, que emite várias frequências: infravermelho, luz visível e ultravioleta, conforme figura 10. A intensidade da radiação em cada frequência é diferente, pois depende justamente da temperatura que o corpo se encontra.

Figura 9. Radiação de corpo negro



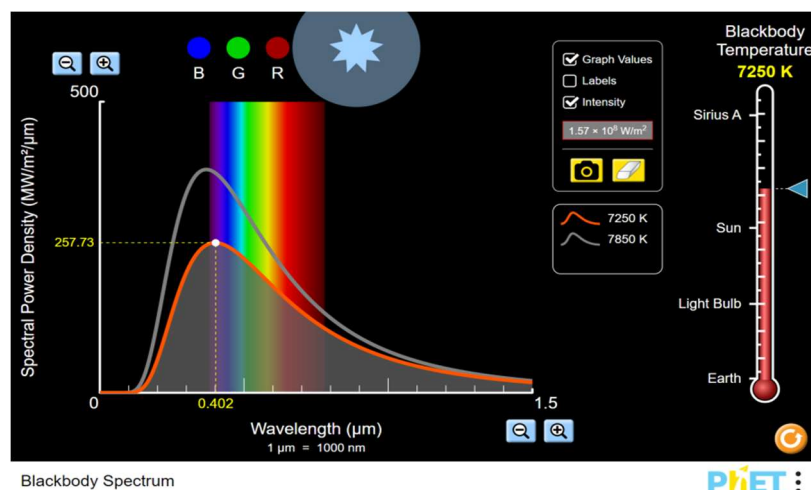
Para aprofundar mais sobre o estudo da radiação de corpo negro, acesse a obra *Mecânica Quântica: um curso para professores da educação básica* (Perez, 2016), disponível no link ou QR code abaixo.

https://mnpfblumenauufscbr.paginas.ufsc.br/files/2017/05/MecQuant_Perez.pdf



<https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-5.html>

Figura 10. Espectro de corpo negro



Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/blackbody-spectrum. Acesso em 21 de fevereiro

2.4 Passo 4: Apresentar o conhecimento a ser aprendido levando em consideração a diferenciação progressiva

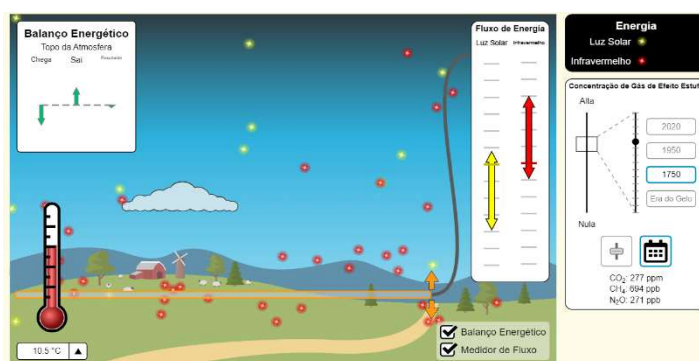
O conteúdo será abordado por meio da discussão do texto **“O encontro do Radinho presunçoso de duas faixas com as moléculas de Oxigênio e o Nitrogênio do ar.”** Após a leitura, será discutido com os alunos alguns conhecimentos abordados no texto, entre os quais: como ocorre a transmissão das informações até as pessoas? O que se compreende por faixa de rádio, apresentado no texto? Para essas duas questões, os alunos serão instruídos a representar por meio de desenhos os mecanismos que envolvem a transmissão de uma informação que ocorre próximo ou distante de nós e buscar explicar a distribuição das faixas de frequências de um rádio diferenciando sua classificação de acordo o comprimento de onda.

Para continuar, será dialogado com os estudantes a ideia de molécula de gás e a representação feita a partir da imaginação humana de uma molécula ou partícula, e, por fim, uma discussão de como as moléculas de CO₂ funcionam na interação com a radiação infravermelha semelhante a interação da antena de rádio com a onda de rádio do espectro eletromagnético.

Dentro dessa etapa, será realizado simulações no laboratório virtual *PhET* e apresentação de vídeos sobre o assunto a ser aprendido. A simulação busca mostrar aos estudantes como ocorre o efeito estufa e sua importância para o balanço de energia da Terra e controle da temperatura média do planeta (figura 11). Ao mesmo tempo, mostrar como a concentração dos gases de estufa alteram essa temperatura média e o aumento dessa concentração ao longo da evolução humana. Antes da simulação, serão apresentados dois pequenos vídeos: “Eunice Foote e a descoberta do efeito estufa” e “Como os gases de efeito estufa realmente funcionam.” Disponíveis, respectivamente, nos endereços: <https://www.youtube.com/watch?v=q6A-pEsvsGA> e <https://www.youtube.com/watch?v=2oxCnVUJCwQ>.

O primeiro vídeo traz a oportunidade da abordagem da importância e contribuições das mulheres na ciência do clima, permitindo uma discussão sobre os estudos e descobertas das mulheres para a ciência de um modo geral, pois compara os resultados dos trabalhos de Eunice Foote com as descobertas de Marie Curie.

Figura 11: simulação do efeito estufa



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/greenhouse-effect/latest/greenhouse-effect_all.html?locale=pt_BR

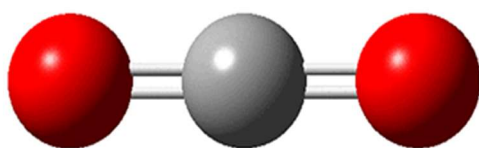
Para complementar as abordagens mostradas nos vídeos, o professor efetuará a simulação, no *PhET*, figura 12, acerca da interação da radiação infravermelha com as moléculas dos gases de efeito estufa e uma amostra da vibração dessas moléculas.

Figura 12. Simulação moléculas e Luz



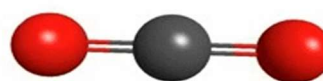
Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_all.html?locale=pt_BR

Gif 1. Vibração da molécula de CO_2



<https://gifer.com/pt/VGP>

Gif 2. Vibração da molécula de CO_2



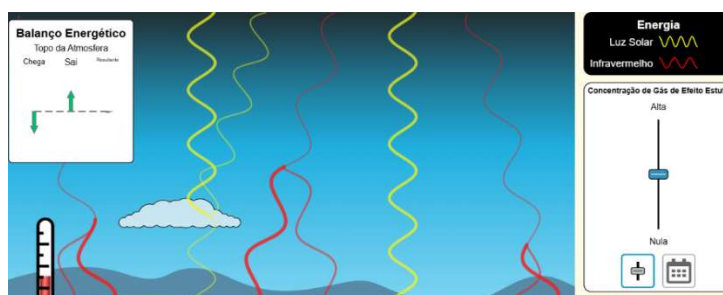
MakeAGIF.com

Fonte <https://gifer.com/pt/Cj3>

2.5 Passo 5: Retomar os aspectos gerais em nível maior de complexidade

Essa etapa terá um aprofundamento e avanço dos conhecimentos abordando o conteúdo num grau maior de complexidade, apresentando novos conceitos e construindo novas aprendizagens integradas aos conhecimentos e conceitos já elencados. Para tal finalidade, serão utilizados textos didáticos elaborados pelos próprios autores da proposta, slides elaborados pelo professor, vídeos e simulação com o recurso do laboratório virtual *PhET*, com a mediação do professor fazendo um momento de diálogo com os estudantes sobre o assunto. Inicialmente, será utilizado o texto: “**O Super-herói que balançava o pente carregado**”, respondendo às questões elencadas no texto. Na sequência, será abordado o balanço de energia e albedo, a potência e o espectro de emissão de irradiação da Terra e as leis de Stefan-Boltzmann e Wien. Essa abordagem ocorrerá por meio de vídeos disponíveis nos endereços eletrônicos abaixo, resolução de situações e o uso da plataforma *PhET* (figura 13) para realizar simulação do balanço de energia e albedo.

Figura 13. Efeito estufa e balanço energético



https://phet.colorado.edu/sims/html/greenhouse-effect/latest/greenhouse-effect_all.html?locale=pt_BR

Links para acesso das videoaulas.

<https://www.youtube.com/watch?v=YJmJ9QuPQms&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=8>

<https://www.youtube.com/watch?v=foe6SxJ-6Z0&t=880s>
<https://www.youtube.com/watch?v=UZR3JcqE04c&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=8>

Prosseguindo com o conhecimento, será realizado um experimento mostrando que o aumento do CO₂ na atmosfera tem como consequência um aumento da temperatura média do planeta ao reter mais radiação infravermelha próxima à superfície. Ao concluir o experimento, será feito um diálogo com os estudantes sobre

os resultados observados. Por meio da observação, os discentes irão comentar a respeito dos aumentos de temperaturas globais, pensando na concentração do dióxido de carbono na atmosfera. A partir do experimento, serão debatidas as principais fontes de emissão do dióxido de carbono, principalmente por meio da ação humana, e as fontes naturais, utilizando os pequenos vídeos, em anexo.

Os materiais necessários para o experimento são apresentados na figura 14 e podem ser encontrados no endereço eletrônico: <https://www.mundodepesquisadores.com.br/experimentos/sustentabilidade/efeito-estufa>.

Figura 14. Materiais para o experimento



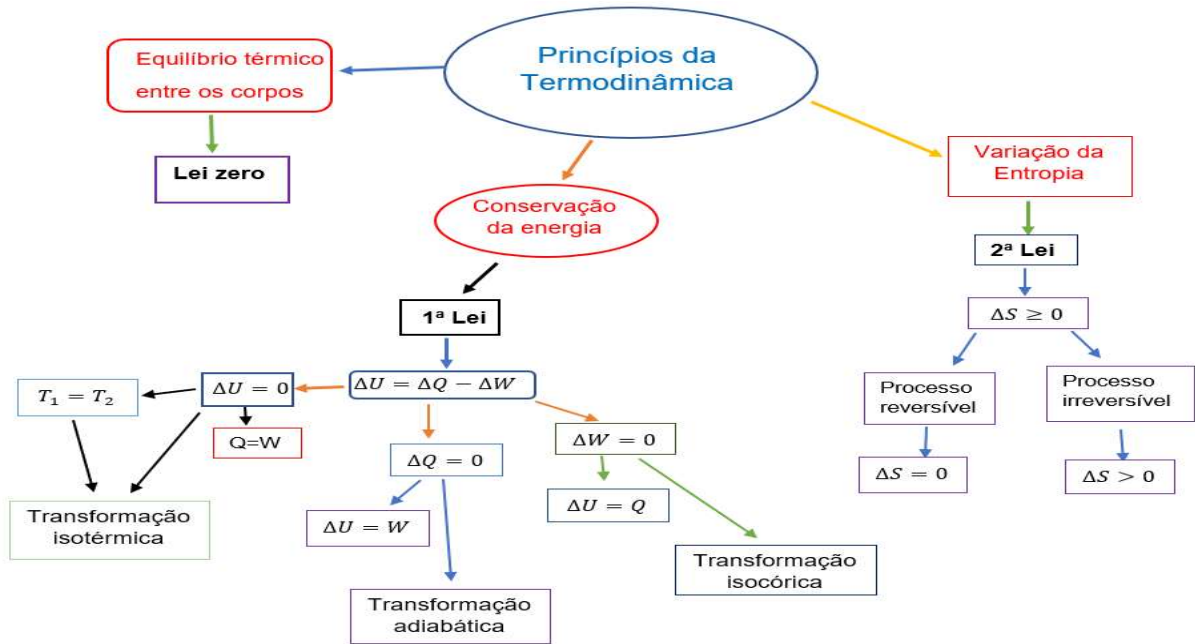
Fonte: <https://www.mundodepesquisadores.com.br/experimentos/sustentabilidade/efeito-estufa>

2.5.1 Passo a passo para efetuar o experimento

Parte I: prenda um termômetro em cada um dos recipientes com fita adesiva, deixando as pontas dos termômetros afastadas alguns centímetros (5 cm) do fundo; vede a boca de cada recipiente para evitar a troca de calor com o ambiente; coloque os recipientes a, aproximadamente, 5 cm um do outro num local que incida a luz do Sol ou próximos à lâmpada, mas sem que a toque. Aguarde alguns minutos e confira a temperatura nos recipientes.

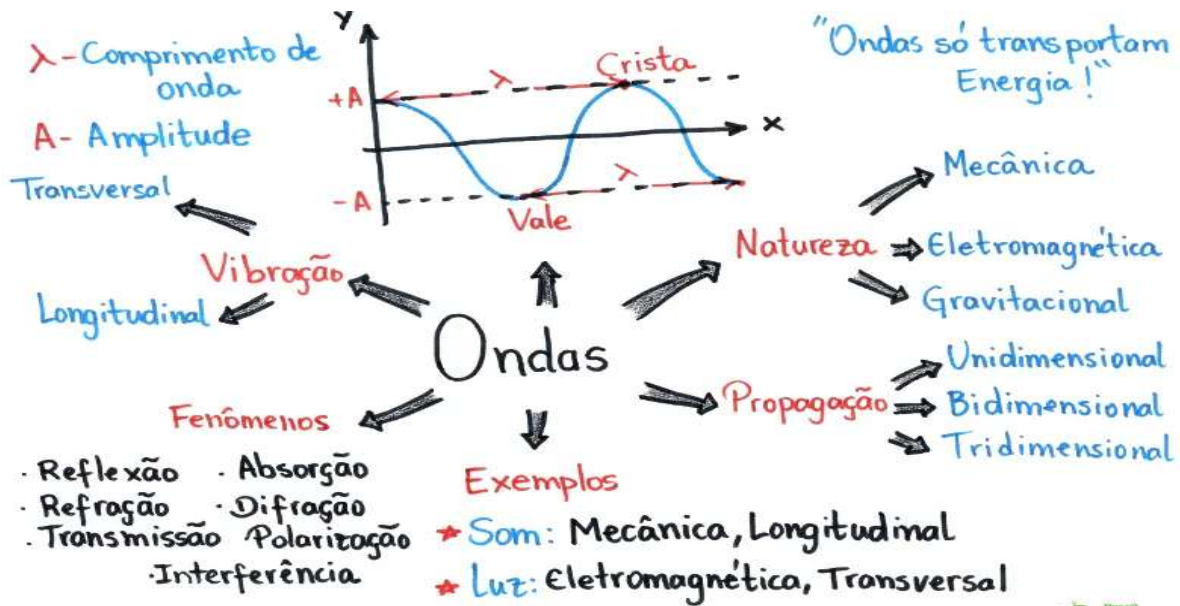
Parte II: misture, aproximadamente, 50 ml de vinagre com uma colher de bicarbonato de sódio em um dos recipientes, ou, se preferir, deposite as pastilhas efervescentes em uma das vasilhas e adicione o vinagre sobre as pastilhas. Posicione os recipientes num local que receba a luz do Sol ou os deixem próximos da lâmpada por alguns minutos. Durante esse intervalo de tempo, anote as temperaturas nos recipientes, observando os cronômetros.

Figura 16. Mapa conceitual 1: leis da Termodinâmica



Fonte: Arquivo do autor

Figura 17. Mapa conceitual 2: ondulatória



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-classificacao-das-ondas.htm>



2.7 Passo 7: Avaliação final da aprendizagem

A avaliação da aprendizagem no percurso da implementação da UEPS se caracteriza, de acordo Moreira (2012), pelo registro de tudo que possa evidenciar uma aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado. Além dessas aprendizagens

verificadas ao longo do processo, o autor preconiza que deve haver uma avaliação individual e somativa, por meio de questões e/ou situações que acarretem em compreensão do conteúdo ou evidenciem a captação de significados. Nesse panorama, será elaborado e aplicado um questionário constituído por questões abertas e de múltipla escolha, abrangendo conteúdos ministrados durante a aplicação da UEPS.

2.8 Passo 8: Avaliação da UEPS

Além dos registros e análises nas atividades aplicadas nos passos anteriores, ao final, será aplicado um questionário de avaliação da UEPS, por meio do qual os estudantes poderão externalizar suas opiniões acerca da sequência desenvolvida em sala de aula, elencando os pontos mais importantes, os conhecimentos adquiridos, sugestões e críticas. Como avaliação final, os estudantes responderão, individualmente, uma atividade com questões abertas e de múltipla escolha, questões conceituais, de assimilação e conhecimentos matemáticos.

3.0 Referências

MOREIRA, Marco A.; MASINI, Elcie F. Salzano. **Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: A teoria da aprendizagem significativa**. Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2009.

MOREIRA, Marco A. **Unidades de ensino potencialmente significativas UEPS** – Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2012.

Pereira, Virgínia F. Ferreira. **Dióxido de carbono e clima**. Faculdade de Ciências – Universidade de Lisboa, 2023.

MOREIRA, M. A. **O mapa conceitual como instrumento de avaliação da aprendizagem**. Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1984.

MORIN, Edgar. **Educação e complexidade: os sete saberes e outros ensaios**. 4ª ed. p. 53 – 59, São Paulo: Cortez, 2007.

NICOLESCU, Basarab. **O Manifesto da Transdisciplinaridade**. Triom: São Paulo, 1999.

STRINGASCI, Mirian Denise. **A Radiação do Corpo Negro e sua influência sobre os Estados dos Átomos**. Universidade de São Paulo – Instituto de Física de São Carlos, 2011.

TOMASONI, Marco Antonio; TOMASONI, Kên Rodrigues. **Atmosfera em transformação: o ozônio e os CFCs, certezas e incertezas**. Disponível em: <http://www.geoambiente.ufba.br/OZONIO.pdf>. Acesso 04 de novembro de 2023.

4.0 Anexos

Atividades aplicadas

Questionário balanço de energia, temperatura de estado estacionário e comprimento de onda máximo, aplicado na etapa V

Vimos nas aulas e videoaulas que a taxa de variação de temperatura para um corpo é determinada pela equação

$$C \frac{dT}{dt} = Q[1 - a(T)] - \varepsilon\sigma T^4$$

Onde o termo $C \frac{dT}{dt}$ é a taxa de variação da temperatura

$Q[1 - a(T)]$ indica a energia absorvida, sendo a o albedo e, (T) a temperatura

$\varepsilon\sigma T^4$ representa a energia emitida, sendo ε e σ constantes

Vimos ainda que utilizando os termos $Q[1 - a(T)] - \varepsilon\sigma T^4$ que representa, respectivamente, a energia absorvida e energia emitida,

Podemos ter no estado de equilíbrio $Q[1 - a(T)] = \varepsilon\sigma T^4$, onde

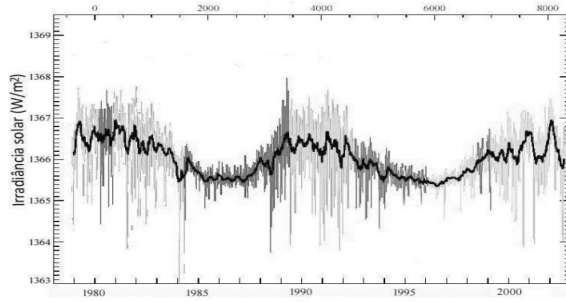
$$T = \sqrt[4]{\frac{Q(1 - a)}{\varepsilon\sigma}}$$

Agora vamos resolver algumas questões

- 1) Dados a emissividade igual a 1, a quantidade de energia solar de $342,5 \text{ w/m}^2$ e o albedo de 0,4 (40%), verificar a temperatura de estado estacionário T . ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ w/m}^2 \text{ K}^4$)
- 2) Determine novamente a temperatura, em graus Celsius, para os valores de emissividade 0,54 e 0,53, considerando o albedo do planeta de 0,39.
- 3) A lua não possui atmosfera como a Terra. Suas temperaturas variam de $-184 \text{ }^\circ\text{C}$ à noite a $214 \text{ }^\circ\text{C}$ durante o dia. A temperatura média na superfície é de $107 \text{ }^\circ\text{C} = 380 \text{ K}$. Calcule a energia emitida pela Lua, dado a emissividade $\varepsilon = 0,8$.

Fontes: heasarc.gsfc.nasa.gov, ufrgs.br/ast/solar

- 4) Sendo a temperatura efetiva do Sol (temperatura de equilíbrio térmico) igual a 5800 K , dado a sua emissividade de 100%, calcule a energia emitida pelo Sol. Lembrete $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ w/m}^2 \text{ K}^4$.
- 5) (Walter J. Maciel - Adaptado). A figura abaixo (NASA) mostra a variação com o tempo da constante solar, ou irradiância, desde 1978 até 2002. Utilizando o valor médio mostrado no gráfico e considerando a temperatura de equilíbrio da Terra $T = 15 \text{ }^\circ\text{C} = 288 \text{ K}$, calcule o valor médio do poder de emissividade Terra nesse período.



Lei de Wien para corpo negro: “O comprimento de onda que um corpo negro emite com intensidade máxima (λ_{max}) é inversamente proporcional à temperatura absoluta.”

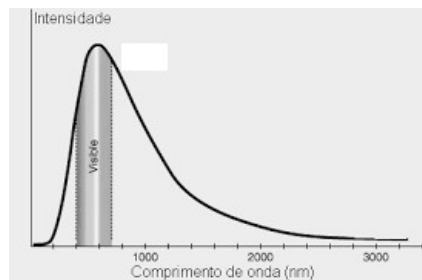
6) Determine a temperatura de espectro de um corpo negro para um comprimento de onda λ_{max} igual a 600 nm. Dado o valor de $\alpha = 2,9 \cdot 10^{-3} m$.

7) Considerando que a radiação emitida por um corpo negro tenha pico de λ_{max} em 950 nm, a que temperatura é emitida essa radiação?

(Lembrete: $\alpha = 2900 \cdot 10^{-6} km$)

8) No gráfico abaixo está representado a radiação do espectro de um corpo negro, para o qual, o pico indica o comprimento de onda máxima de acordo a lei de Wien. A temperatura para a emissão dessa radiação é:

- a) 6000K
- b) 5000K
- c) 4000K
- d) 3000K



AVALIAÇÃO FINAL DA APRENDIZAGEM, APLICADA NA ETAPA VII

- 1) (UNICAMP 2024 2ª fase – adaptada) Alguns Cientistas afirmam que o sistema climático da Terra está fora do seu balanço energético, com um contínuo acúmulo de calor observado nas últimas décadas. Isso se observa nos registros recentes nos recordes de altas temperaturas. O MECANISMO que explica esse ganho de energia é o:
 - a) Buraco de ozônio, com gases CFC, aumentando a radiação de saída.
 - b) Smog fotoquímico, com gases como NO_x , retendo parte da radiação solar incidente.
 - c) Chuva ácida, com gases como o CO_2 , aumentando a radiação de saída.
 - d) Efeito estufa, com gases como CO_2 e CH_4 , retendo parte da radiação solar incidente.

- 2) O efeito estufa é um processo natural ocorrido na atmosfera e de muita importância para o equilíbrio climático do planeta. Descreva com suas palavras como esse processo contribui para o balanço de energia da Terra.

- 3) Durante os estudos em sala de aula, vimos que o espectro eletromagnético é o conjunto formado pelas diferentes ondas eletromagnéticas com seus diferentes comprimentos de onda e frequência. A radiação do espectro liberada pela Terra e absorvida pelos gases de efeito estufa, responsável por manter o equilíbrio térmico é:
- Micro-ondas
 - Ondas de rádio
 - Luz visível
 - Ultravioleta
 - Infravermelho
- 4) A Terra é considerada como um corpo negro, pois
- É escura à noite.
 - Absorve a radiação eletromagnética incidente e depois emite na faixa do infravermelho.
 - Não consegue emitir parte da radiação incidente.
 - Não é capaz de absorver a radiação incidente.
- 5) No texto “O extintor que vazou no carro da polícia”, vimos que o carro de Carlos estava com maior concentração de dióxido de carbono devido o vazamento do extintor, enquanto o carro de João mantinha a concentração desse gás, constante. Retomando às questões elencadas no texto após os estudos realizados:
- O que você acha que as câmeras internas de cada carro registraram à medida que o dióxido de carbono do carro de Carlos aumentou e de João permanecia o mesmo?
 - Se o gás fosse oxigênio ou nitrogênio, as câmeras registrariam a mesma situação? Justifique.
- 6) Explique Como a concentração de CO_2 (dióxido de carbono) na atmosfera contribui para o aumento da temperatura média global.
- 7) O dióxido de carbono (CO_2) é um gás de efeito estufa por captar com facilidade a radiação eletromagnética do infravermelho emitida pela Terra, se assemelhando com uma antena de rádio que captam o sinal das ondas de rádio que se propagam no espaço. Isso só é possível devido à flexão ou deformação angular das moléculas de CO_2 que permitem a absorção da radiação, pois
- São abundantes na atmosfera.
 - Produz dipolo elétrico e vibram na mesma frequência do comprimento de onda emitido pela Terra.
 - Não produzem dipolo elétrico.
 - Vibram na mesma faixa de frequência das ondas de rádio.
- 8) Durante a exposição e discussão dos conteúdos em sala de aula, vimos uma semelhança entre a interação das ondas de rádio e a antena, com a interação da radiação infravermelho e as moléculas do dióxido de carbono. Construa uma

explicação para essa semelhança entre essas duas interações, por meio de desenhos e/ou textos.

- 9) O vapor d'água (H_2O) e o ozônio (O_3) são gases de efeito estufa presentes na atmosfera. Além destes, as atividades antrópicas do cotidiano geram e liberam na atmosfera outros gases de mesmo efeito.

A alternativa que apresenta apenas outros gases de efeito estufa é:

- a) Dióxido de carbono (CO_2), Nitrogênio (N_2) e Hidrogênio (H).
 - b) Oxigênio (O_2) e Nitrogênio (N_2).
 - c) Dióxido de carbono (CO_2) e Metano (CH_4).
 - d) Nitrogênio (N_2) e Metano (CH_4).
- 10) (IBFC - SEDUC - MT - 2017) Na imagem abaixo temos o espectro de radiação do Sol medido na terra no alto da atmosfera, ao nível do mar e o ajuste pela equação de Planck para o corpo negro. A posição do pico do modelo do corpo negro satisfaz a lei do deslocamento Wien: $\lambda_{max} T = 2900 \times 10^{-6} \text{ Km}$, onde temos o comprimento de onda do máximo do espectro, λ_{max} , e a temperatura T do corpo negro em equilíbrio térmico com a radiação.

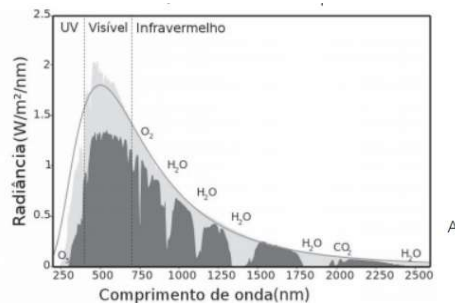


Figura: espectro de radiação Solar medido na terra. Em cinza claro: topo da atmosfera, em cinza escuro: ao nível do mar. As faixas de absorção características de gases componentes da atmosfera são visíveis. A curva de Planck é mostrada na curva contínua. Fonte: Adaptado de wikipedia commons. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24648395>. Gráfico baseado nos dados da American Society for Testing and Materials (ASTM), www.astm.org.

A temperatura de equilíbrio térmico da superfície solar pelo modelo do corpo negro é de aproximadamente

- a) 1000K
- b) 3000K
- c) 6000K
- d) 9000K
- e) Não pode ser calculada pelo modelo de corpo negro, porque o Sol é predominantemente amarelo.

- 11) Sendo a temperatura efetiva de um certo corpo negro (temperatura de equilíbrio térmico) igual a 2900 K, dado a sua emissividade $\epsilon = 0,8$, calcule a energia emitida por esse corpo. Lembrete $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ w/m}^2 \text{ K}^4$; $I = \epsilon \sigma T^4$

AVALIAÇÃO DA UEPS

- 1) Durante a aplicação da UEPS sobre os princípios físicos presentes no clima e suas mudanças, foram apresentados vídeos, realização de simulações na plataforma *PhET* e experimentos. Comente o que você achou mais interessante durante os estudos do tema.

2) Numa escala de 1 a 5, onde 1 indica pouco e 5 significa muito, assinale o quanto você considerava saber sobre alguns dos princípios físicos presentes no clima e suas mudanças, antes da aplicação da UESP.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

3) Numa escala de 1 a 5, onde 1 indica pouco e 5 significa muito, assinale o quanto você considera saber sobre alguns dos princípios físicos do clima e suas mudanças, após a aplicação da UESP.

1 () 2 () 3 () 4 () 5 ()

4) As estratégias adotadas pelo professor auxiliaram na compreensão e aprendizagem sobre o assunto.

- A) () Muito
- B) () O suficiente
- C) () Razoável
- D) () Pouco
- E) () Nada

5) Apresente as aprendizagens mais significantes que você conseguiu adquirir com essas estratégias.

6) Faça uma avaliação dos recursos utilizados pelo professor em sala de aula para abordar o tema, indicando se esses recursos foram eficientes ou ineficientes para a aprendizagem.

7) Durante a abordagem do tema, além dos conhecimentos de Física, o professor conseguiu abordar conhecimentos para além da Física? Cite alguns.

8) Numa escala de zero a dez, que nota você atribui à UESP aplicada pelo professor?

Links dos mini vídeos

<https://www.youtube.com/watch?v=q6A-pEsvsGA>

<https://www.youtube.com/watch?v=qJZSSSuNqmc&t=10s>

<https://www.youtube.com/watch?v=3pnwV-597Q0&t=14s>

https://www.youtube.com/watch?v=_j13ozmHoR0&t=24s

<https://www.youtube.com/watch?v=GdkzT-bJIYM&t=29s>

<https://www.youtube.com/watch?v=6MCp0fqrEfs&t=26s>

<https://www.youtube.com/watch?v=YJmJ9QuPQms&t=27s>

<https://www.youtube.com/watch?v=UZR3JcqE04c&t=91s>

<https://www.youtube.com/watch?v=c41Ev6k2DFE&t=5s>

<https://www.youtube.com/watch?v=LGP hc7rquKM>

<https://www.youtube.com/watch?v=zQqygoVRJpc&t=10s>

<https://www.youtube.com/watch?v=E-sRYlqlY0M&t=9s>

<https://www.youtube.com/watch?v=Z7wRU7plZAw>

Outros materiais de apoio

<https://canaltech.com.br/produtos/como-funciona-um-bloqueador-de-sinal-de-celular/>

<https://canaltech.com.br/seguranca/o-que-e-bloqueador-de-celular/>

<https://www.youtube.com/watch?v=3dUbcl3yFEQ>

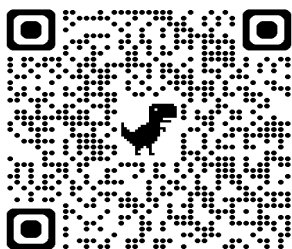
<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2024/08/31/como-e-medida-a-temperatura-do-planeta-jn-visita-instituto-responsavel-por-monitorar-mudancas-climaticas.ghtml>

Apêndice B: Questionário likert, etapa inicial e final

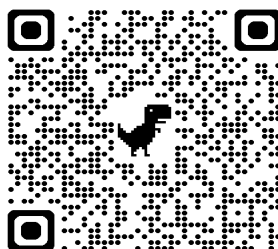
<https://www.mentimeter.com/app/presentation/al2r49iocq6n6c8fov2p4mi5jvjfw7h7/view?question=bvqvfe6fpoz>

<https://www.mentimeter.com/app/presentation/alws9ta1rxheq6tjfh2yjokwf97m8dsm/view?question=7himwk5qagny>

Etapa inicial



Etapa final

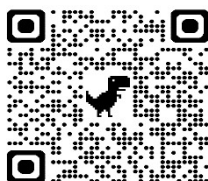


Apêndice C: Textos didáticos

O extintor que vazou no carro da polícia. Disponível no link ou QR code:
https://drive.google.com/file/d/1BuDwwyQUnzbqLHEljY4ijG77-NIG98OI/view?usp=drive_link



O encontro do radinho presunçoso de duas faixas com as moléculas de Oxigênio e o Nitrogênio do ar. Disponível no link ou QR code:
https://drive.google.com/file/d/1E1d2IYzaXt1RB5Xxm4muJBy_26zWewuL/view?usp=drive_link



O super herói que balançava o pente carregado. Disponível no link ou QR code:
https://drive.google.com/file/d/1UtBzB6UI0qFqG245nl7RNWtbNfoBxvOY/view?usp=drive_link



Apêndice D: Pequeno histórico da ciência do clima e as mudanças climáticas

<https://www.youtube.com/watch?v=q6A-pEsvsGA&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=1>

<https://www.youtube.com/watch?v=qJZSSuNqmc&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=2>

<https://www.youtube.com/watch?v=3pnwV-597Q0&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=3>

https://www.youtube.com/watch?v=_j13ozmHoR0&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=4

<https://www.youtube.com/watch?v=GdkzT-bJIYM&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=5>

<https://www.youtube.com/watch?v=6MCp0fqrEfs&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=6>

<https://www.youtube.com/watch?v=YJmJ9QuPQms&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=7>

<https://www.youtube.com/watch?v=UZR3JcqE04c&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=8>

<https://www.youtube.com/watch?v=c41Ev6k2DFE&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=9>

<https://www.youtube.com/watch?v=LGPhc7rquKM&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=10>

<https://www.youtube.com/watch?v=zQqygoVRJpc&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=12>

<https://www.youtube.com/watch?v=E-sRYlqIY0M&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=13>

<https://www.youtube.com/watch?v=Z7wRU7plZAw&list=PL4ddnkqDVj5NmK5uBINBu7ePd7X2-cOPK&index=14>

Apêndice E: videoaulas e documentários

<https://www.youtube.com/watch?v=foe6SxJ-6Z0&t=880s>

<https://www.youtube.com/watch?v=WNzoyROVxpk&t=145s>

<https://www.youtube.com/watch?v=eg6lKnQgacE>

<https://www.youtube.com/watch?v=7HbL-9oZ9tU>

<https://www.youtube.com/live/LZtLI2TV-98>