



**AS CONTRIBUIÇÕES DA NEUROCIÊNCIA COGNITIVA PARA O ENSINO DE
FÍSICA EM DISCENTES COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA**

IRATANIO MAGNUN DE SOUZA SERPA SILVA

Vitória da Conquista – Bahia

2020



AS CONTRIBUIÇÕES DA NEUROCIÊNCIA COGNITIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA EM DISCENTES COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA

IRATANIO MAGNUN DE SOUZA SERPA SILVA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte dos requisitos 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. Jorge Anderson Paiva Ramos.

Coorientador:
Prof. Dr. Luizdarcy Matos Castro.

Vitória da Conquista – Bahia

2020

S578c

Silva, Iratanio Magnun de Souza Serpa.

As contribuições da neurociência cognitiva para o ensino de física em discentes com deficiência auditiva. / Iratanio Magnun de Souza Serpa Silva, 2020.

113f. il.

Orientador (a): Dr. Jorge Anderson Paiva Ramos.

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, 2020.

Inclui referência F. 81-87.

1. Neurociência cognitiva. 2. Ensino de física. 3. Discentes surdos. 4. Ondas sonoras e audição humana. I. Ramos, Jorge Anderson Paiva. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física- MNPEF. III. T.

CDD 616.58

Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890

Bibliotecária UESB – Campus Vitória da Conquista - BA



GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - UESB/RTR/PPGMNPEF

ATA DE BANCA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE Mestrado

Aos dezessete dias do mês de julho de 2020, às 9h00, através de plataforma virtual, instalou-se a Banca Examinadora para avaliação da dissertação intitulada “*As contribuições da neurociência cognitiva para o ensino de Física em discentes com deficiência auditiva*”, de autoria de Iratânio Magnun de Souza Serpa Silva, 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(a) professor(a) Dr(a). Jorge Anderson Paiva Ramos, orientador(a) do(a) mestrando(a) e contou com a participação dos professores Dr(a) Luizdarcy de Matos Castro, Dr(a) Benedito Gonçalves Eugênio e Dr(a) Jorge Ricardo de Araújo Kaschny, 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 enviado para a 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 por demais instâncias competentes.

Prof(a). Dr(a). Jorge Anderson Paiva Ramos

Presidente da Banca Examinadora/Orientador

Prof(a). Dr(a). Luizdarcy de Matos Castro

Examinador(a) interno(a)

Prof(a). Dr(a). Benedito Gonçalves Eugênio

Examinador(a) externo (a)

Prof(a). Dr(a). Jorge Ricardo de Araújo Kaschny

Examinador(a) interno(a)

Iratãnio Magnun de Souza Serpa Silva

Discente

Profa. Dra. Cristina Porto Gonçalves

Coordenadora do PPG-MNPEF



Documento assinado eletronicamente por **Benedito Gonçalves Eugênio, Coordenador**, em 17/07/2020, às 11:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Ricardo de Araujo Kaschny, Usuário Externo**, em 17/07/2020, às 11:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristina Porto Gonçalves, Professor Titular**, em 17/07/2020, às 12:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luizdarcy de Matos Castro, Professor Titular**, em 17/07/2020, às 12:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Anderson Paiva Ramos, Professor Adjunto**, em 17/07/2020, às 12:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Iratãnio Magnun de Souza Serpa Silva, Usuário Externo**, em 20/07/2020, às 09:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.bahia.ba.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 00020324696 e o código CRC 850A82BA.



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



**AS CONTRIBUIÇÕES DA NEUROCIÊNCIA COGNITIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA
EM DISCENTES COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA**

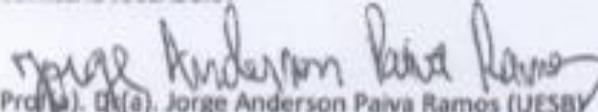
AUTOR(A): IRATÂNIO MAGNUN DE SOUZA SERPA SILVA

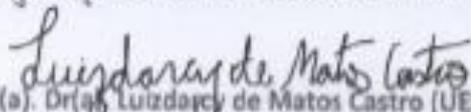
DATA DE APROVAÇÃO: 17 DE JULHO DE 2020

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

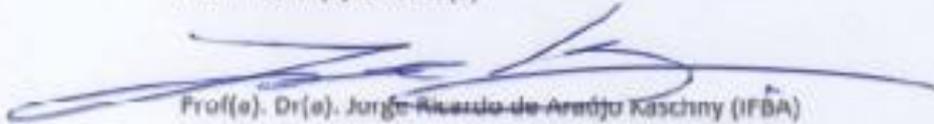
Área de concentração: Ensino de Física.

COMISSÃO JULGADORA


Prof(a). Dr(a). Jorge Anderson Paiva Ramos (UESB)
Presidente da Banca Examinadora/Orientador


Prof(a). Dr(a). Luizdarcy de Matos Castro (UESB)
Examinador(a) interno(a)/Coorientador


Prof(a). Dr(a). Benedito Gonçalves Eugênio (UESB)
Examinador(a) externo(a)


Prof(a). Dr(a). Jorge Ricardo de Araújo Kaschny (IFBA)
Examinador(a) interno(a)

2020

*Dedico a minha família, À Grisel e
aos meus colegas de trabalho.*

AGRADECIMENTOS

A professora e intérprete Carina e ao Professor Danilo.

Aos colegas professores do campus de UESB Itapetinga.

Aos a todos professores do MNPEF polo UESB, em especial aos Jorge Anderson e Luizdarcy Matos Castro que oportunizaram uma orientação tranquila.

À Capes, pelo suporte financeiro.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF), pela idealização do programa MNPEF.

RESUMO

Esta dissertação foi construída inclinando-se sobre uma pesquisa de mestrado que visa a investigação e posterior aplicação de conceitos de neurociência cognitiva assentados em concepções de natureza linguística e semióticas para o ensino de Física a discentes com deficiência auditiva na área de acústica, com a temática em frequência sonora. As conclusões acrescidas dos dados experimentais de investigação exploratória foram utilizadas mais a frente com o intuito de compor um produto educacional (sequência didática) como resultado aplicável das proposições teóricas dos campos visitados no processo de escrutínio da literatura científica sobre o tema. Os resultados aqui apresentados originaram-se da Neurociência Cognitiva, Linguística, Semiótica e foram aplicados para a compreensão e posterior otimização de variáveis cognitivas vinculadas a atividades didáticas para o Ensino de Física em deficientes auditivos. Os primeiros resultados demonstraram que: a) é extremamente importante que o ensino de Física seja qualificado como um sistema linguístico-semiótico; b) tal semiótica deve ser melhorada (ao nível ótimo) valendo-se de estratégias de ensino-aprendizagem que expressem a essência intermodal (cross-modal); c) alguns atributos cognitivos como atenção, memória, cognição emocional, raciocínio disjuntivo¹ e dissonância cognitiva² foram otimizadas ao máximo via procedimentos de ensino-aprendizagem possuindo como alicerce motivador os princípios da biônica. Para isto, as atividades e situações didáticas foram ampliadas com o auxílio de um protótipo controlado pelo que Rocha e Baranauskas (2003) designam por interface humano-computador (IHC).

PALAVRAS-CHAVES: Neurociência Cognitiva, Ensino de Física, Discentes Surdos.

Disjuntivo aqui refere-se ao raciocínio não-assertivo.¹

Sensação de desconforto mental experimentada quando o indivíduo possui ideias ou valores contraditórios.²

ABSTRACT

This dissertation was built by leaning on a master's research that aims at the investigation and further application of cognitive neuroscience concepts based on linguistic and semiotic conceptions for teaching Physics to students with hearing impairment in the area of acoustics, with the theme in sound frequency. The conclusions added to the experimental data of exploratory research were used later in order to compose an educational product (didactic sequence) as an applicable result of the theoretical proposals of the fields visited in the process of scrutinizing the scientific literature on the subject. The results presented here originated from Cognitive Neuroscience, Linguistic, and Semiotic were applied to the understanding and further optimization of cognitive variables linked to didactic activities for the Teaching of Physics in the hearing impaired. The first results showed that: a) it is extremely important that the teaching of Physics is qualified as a linguistic-semiotic system; b) such semiotics must be improved (at the optimum level) using teaching-learning strategies that express the intermodal essence (cross-modal); c) some cognitive attributes such as attention, memory, emotional cognition, disjunctive reasoning and cognitive dissonance have been optimized to the maximum via teaching-learning procedures having the principles of bionics as a motivating foundation. For this, the didactic activities and situations were expanded with the aid of a prototype controlled by what Rocha and Baranauskas (2003) call human-computer interface (IHC).

KEYWORDS: Cognitive Neuroscience, Physics Teaching, Deaf Students.

ÍNDICE DE IMAGENS

Figura 1: Onda Transversal.....	29
Figura 2: Onda Longitudinal: Onda Sonora.....	30
Figura 3: Onda progressiva em $t=0$ com constantes de fase ϕ diferentes.....	32
Figura 4: Instantâneos de uma onda transversal em $t=0$ e $\Delta t=t$	33
Figura 5: Pulso simétrico, visto a partir de um referencial no qual o pulso está estacionário e a corda parece se mover da direita para esquerda com velocidade v	35
Figura 6: Uma série de instantâneos que mostra dois pulsos se propagando em sentidos opostos em uma corda estacionária. O princípio da superposição se aplica quando os pulsos passam um pelo outro.....	37
Figura 7: Ondas estacionárias – fotografia estroboscópica.....	40
Figura 8: Onda sonora que se propaga com velocidade v em tubo longe e cheio de ar.....	42
Figura 9: Defasagem de 90° entre a variação da pressão e o deslocamento.....	43
Figura 10: Modelo esquemático das ondas e do ponto de detecção P.....	44
Figura 11: Em a) e b) são representadas ondas de frequências muito próximas, porém detectadas separadamente. Em c), Onda resultante – batimento.....	46
Figura 12: Representação esquemático do ouvido e suas divisões.....	48
Figura 13: Ouvido externo.....	49
Figura 14: Modelo proposto por Bertulani.....	49
Figura 15: Ouvido interno.....	50
Figura 16: Encaixe entre martelo, bigorna e estribo.....	51
Figura 17: Modelo tridimensional.....	51
Figura 18: Ouvido interno.....	52
Figura 19: Imagem da cóclea.....	53
Figura 20: Escalas vestibular e timpânica, helicotrema.....	53
Figura 21: Ativação do córtex auditivo.....	60
Figura 22: Imagem mostrando ativação em BA 18, BA 19, BA 39 e BA 22.....	61
Figura 23: Imagem mostrando ativação em BA 7.....	61
Figura 24: Imagem mostrando ativação em BA 40.....	62
Figura 25: Imagem mostrando ativação em BA 21.....	62
Figura 26: Imagem mostrando ativação em BA 37.....	62
Figura 27: Imagem do Discente com deficiência auditiva sorrindo enquanto manipula o software.....	76

Figura 28: Imagem do Discente com deficiência auditiva manipulando o software	78
Figura 29: Imagem do Discente com deficiência auditiva sorrindo e manipulando software.	78
Figura 30: Imagem do Discente com deficiência auditiva argumentando sobre o conceito de frequência enquanto manipula o primeiro software.....	78
Figura 31: Imagem do software em funcionamento.....	96
Figura 32: Imagem do software em funcionamento.....	98
Figura 33: Imagem do hardware.....	98
Figura 34: Esquema do funcionamento de um sensor de ultrassom.....	100
Figura 35: Imagem do software em funcionamento.....	101

ÍNDICE DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1. Neurociência cognitiva e temas educacionais.....	64
-------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

IHC - interface humano-computador

CTSA - Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente

LIBRAS – Língua Brasileira de Sinais

IBRO - International Brain Research Organization

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

TID - Transtornos Invasivos de Desenvolvimento

a.C. – Antes de Cristo

d.C – Depois de Cristo

MP3 - MPEG Layer 3

SNAC - Sistema Nervoso Auditivo Central

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMÁTICA	14
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo geral.....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
2 ESTADO DA ARTE.....	17
3 ONDAS SONORAS E AUDIÇÃO HUMANA.....	24
3.1 ONDAS	31
3.1.2 ONDAS E SEUS TIPO	31
3.1.3 ONDAS EM UMA CORDA.....	32
3.1.4 Comprimento de onda e frequência.....	32
3.1.5 Período, frequência angular e frequência	33
3.1.6 Velocidade de uma onda progressiva	34
3.1.7 Velocidade de propagação da onda em uma corda tensionada.....	36
3.1.8 Energia e potência de uma onda progressiva em uma corda tensionada.....	37
3.1.9 Princípio da superposição de ondas e interferência	37
3.1.10 Ondas estacionárias e ressonância	40
3.2 ONDAS SONORAS	41
3.2.1 Velocidade do som	42
3.2.2 Ondas sonoras progressivas.....	42
3.2.3 Interferência entre ondas sonoras.....	45
3.2.4 Intensidade e nível sonoro.....	45
3.2.5 Escala de <i>decibéis</i>	46
3.2.6 Fontes de som musical.....	46
3.2.7 Batimento	47
3.2.8 Efeito Doppler	48
3.3 OUVIDO HUMANO	49
3.3.1 OUVIDO EXTERNO.....	49
3.3.2 OUVIDO MÉDIO	51
3.3.3 OUVIDO INTERNO	53
4 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS.....	55

4.1 A SURDEZ SOB A LUZ DA NEUROCIÊNCIA	55
4.2 A NEUROBIOLOGIA DA LINGUAGEM.....	59
4.3 O ENSINO DE FÍSICA ENQUANTO LINGUAGEM.....	66
4.4 RELAÇÕES ENTRE LÍNGUA, LINGUAGEM E APRENDIZADO DO INDIVÍDUO SURDO.....	69
5 PROCEDIMENTOS	73
5.1 PÚBLICO ALVO.....	73
5.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA	73
5.3 DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	74
6 RESULTADOS E ANÁLISES	76
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....	79
8 REFERÊNCIAS	81
APÊNDICE A	88
APÊNDICE B.....	103

1 INTRODUÇÃO

Ao abordar resultados com fundamentação teórica preliminar, a demarcação das condições iniciais de contorno para a delimitação do conjunto que designa-se como “Semiótico-Comunicativo”, podendo-se dividi-lo em duas categorias didático-pedagógicas: a) fundamentação epistemológica e conceito da tese; e, b) construção de uma sequência didática.

A investigação será composta por quatro discentes com deficiência auditiva, que fazem e fizeram parte do ensino público da rede federal de educação médio/técnico do município de Itapetinga-BA. Emprega-se atividades didáticas de Ensino de Física, com situações sob o tema frequências sonoras. Tais atividades serão consideradas conforme o contexto com questões apropriadas e relativas a abordagem CTSA ou Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente, procurando respostas e problematizações via interação com o protótipo experimental projetado com microcontrolador Arduino e um microcomputador.

Os discentes surdos manipularam um hardware construído para coletar informações de um potenciômetro que, por conseguinte enviará os dados para um software, que converterá tais informações e fará uma “bolinha” variar sua oscilação de vai e vem na tela de um microcomputador. Posteriormente o mesmo hardware será empregado para manipular do piscar de vários leds em frequências diferentes. Por último colocarão os dedos em um mini alto-falante que vibrará com frequências diferentes ainda através da manipulação desse hardware. Com este procedimento utilizar-se-á as definições de *empowerment* e *mainstreaming* da educação inclusiva para discentes com necessidades específicas.

O campo (sistema) de natureza semiótica (referente, significado e significante) com os quais os discentes se valem quando investigam as resoluções de situações-problemas colocadas pela experiência nas concernentes situações didáticas nortearam o procedimento metodológico desse trabalho. As perguntas principais são: quais modelos, campos conceituais (conceitos e teoremas-em-ação) e representações são ampliadas pelos discentes com surdez em situações didáticas relacionadas o ensino de Física? Existe a possibilidade concreta da inferência de construtos cognitivos ditos universais no Ensino de Física via análise semiótica destas formações cognitivas? O que há por trás da epistemologia cognitiva que tem como base o ensino-aprendizagem da Física, levando em conta a vinculação com sistema de linguagem?

As referências teóricas da investigação serão a Semiótica de Charles Peirce e a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud, somadas a uma perspectiva epistemológica com bases experimentais de investigações em Neurociência Cognitiva utilizadas no contexto educacional, particularmente em relação ao discente com deficiência auditiva.

O conjunto de características da Neurociência Cognitiva, paralelo ao panorama epistemológico dos quais serão deduzidos resultados admissíveis para o Ensino de Física, foram objetos desta dissertação e do produto educacional.

1.1 PROBLEMÁTICA

Investigar o sistema de natureza semiótica – referente, significado e significante – com os quais os discentes se valem quando investigam as resoluções de situações-problemas colocadas pela experiência nas concernentes situações didáticas. A questão que orbitam a cerne da problemática pode ser posta como: a) quais modelos, campos conceituais, teoremas-em-ação e representações são ampliadas pelos discentes com deficiências auditivas em situações didáticas relacionadas ao ensino de Física no que tange ao conceito de frequência sonora?

1.2 JUSTIFICATIVA

Em sua grande maioria as instituições de ensino, sejam de nível fundamental, médio ou superior, trabalham os conteúdos de física para discente com deficiência auditiva sobre a luz da tradicionalidade, beirando quase que exclusivamente exposições conceituais das definições, expressões, relações e equações matemáticas. O trabalho de Borgues e Nogueira (2016), esmiúça em detalhes essa postura metodológica de alguns professores no tocante a seguir uma prática que foca a exposição algébrica em desfavor de um trabalho metodológico geométrico ou até mesmo experimental de conceitos matemáticos. Já Strobel (2008) citado por Borges e Nogueira (2016, p.488), complementa essa ideia falando que “o tradicionalismo experimentado nas aulas observadas quando do ensino de temas algébricos, podem afirmar que houve uma negligência da ‘experiência visual’, da qual dependem os alunos surdos em situação de aprendizagem”.

Outro agravante que se soma a isto é a utilização de livro didático em língua portuguesa, visto que é possível inferir que dependendo do tipo de surdez, alguns surdos usam como língua natural a língua de sinais em detrimento da língua oral, que em caso em questão é o português. Por possuírem um impedimento auditivo, que interfere no processo de aprendizagem da língua falada e escrita – o português – e, posteriormente, no procedimento de ensino e educação como um todo.

Uma das explicações mais recentes sobre o comportamento inteligente foi formulado da perspectiva da neurociência; isto é, a disciplina responsável pelo estudo interdisciplinar do cérebro humano, o que resultou em um maior entendimento sobre a relação entre funcionamento e comportamento do cérebro no processo de aprendizagem.

Talvez um dos resultados mais relevantes dos trabalhos e pesquisas que foram realizadas sobre esse órgão foi a descoberta que seus dois hemisférios diferem significativamente em seu funcionamento. A natureza dessa diferença tem sido intensamente estudada desde a década de 1950. Silva (2008), observa que as publicações em neurociência e educação se tornaram crescentes nos últimos 20 anos, tanto na pesquisa quanto em aplicações didáticas, principalmente, por biólogos, psicólogos, neurologistas e cirurgiões. Bartoszeck (2006), garante que a pesquisa em neurociência por si não produz novas estratégias educacionais, “contudo fornece razões importantes e concretas, não especulativas, do porquê certas abordagens e estratégias educativas são mais eficientes que outras.” (BARTOSZECK, 2006, p. 3).

Ponderando-se os expostos, justifica-se a produção dessa dissertação em linha oposta ao tradicionalismo metodológico pedagógico de exposição, visto que a literatura que trata do tema demonstra fielmente a desvinculação no processo de apreensão cognitiva que é conhecida pelo nome de processo de aprendizagem. Uma vez ponderada as informações oriundas da literatura, optou-se pelo alinhamento com práticas pedagógicas modernas – tecnologias da educação – e a perspectiva da neurociência cognitiva mescladas a conceitos educacionais bem entendidos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Construir um produto educacional sobre a luz do entrelaçamento epistemológico e ontológico, e de maneira transversal entre neurociência cognitiva, linguística, semiótica peirciniana e física para contribuição efetiva no ensino conceitual de frequência sonora.

1.3.2 Objetivos específicos

- Criar símbolos espaço-gestuais para introduzir os conceitos de sucessão de eventos e, *a posteriori*, associar tais símbolos ao conceito de frequência e frequência sonora.
- Desenvolver protótipos em forma de hardware usando a plataforma *arduino* e software utilizando a linguagem *Processing* para auxílio visual e tátil de conceito de frequência e frequência sonora.
- Orientar os discentes surdos na construção cognitiva-conceitual de frequência e associação entre o conceito físico e modelamento matemático.
- Provocar diálogos sobre o ensino de Física para discentes surdos.

2 ESTADO DA ARTE

A literatura averiguada no processo de construção das bases desse trabalho orbitaram ao redor de um centro comum ao ano de 2010 com raio de pesquisa que vai desde dos anos 2000 até janeiro de 2020, claro que fontes outras foram escrutinadas fora desse raio temporal e aqui se justificam pela extrema importante de ruptura paradigmática para a neurociência educacional e ensino de física e matemática para discentes com deficiência auditiva. Os trabalhos chamados ao debate para fomentação do estado da arte dessa dissertação foram produzidos por centros universitários brasileiros e estrangeiros, em sua maioria dissertações e teses, entretanto seu processo de busca não segue uma linearidade, mas um estudo pormenorizado das referências dessas produções acadêmicas. Frisa-se aqui que a coluna vertebral desse estudo se localiza nos livros *The Origin of Consciousness in the breakdown of the bicameral mind* e *Neurociencia Cognitiva y Educación*, a partir dos quais é possível chegar-se em:

Niedderer (2001), fundamenta com maestria a proposta de modelo na qual se evidencia a aprendizagem como processo cognitivo, entrelaçando-os as excitações corticais, com peculiaridades similares as características epistemológicas de interpretação da realidade e construção do conhecimento científico da Física.

Salas (2008), examina as diferentes definições acerca do estilo de aprendizagem, propondo diversas terminologias para cada tipo de aprendizagem, explora a relação entre esses estilos e os tipos cognitivos associados no processo de aprendizagem a cada hemisfério do cérebro. Focando-se com maior ênfase na análise do modelo tricerebral de Waldemar e os perfis de dominância.

Pereira e Mattos (2017), relataram que os discentes surdos tem dificuldade de aprendizagem devido a carência de material pedagógico adequado nas aulas de física. Através desse estudo os autores indicam a ineficiência da metodologia tradicional usada em sala, a falta de interpretes e a falta de capacitação dos professores em LIBRAS. Outro ponto interessante levantado foi a equiparação nas dúvidas conceituais, quando os autores utilizaram LIBRAS na tentativa de explicar algum conceito físico, tanto os discentes surdos como os ouvintes possuíam as mesmas dúvidas. Essa constatação releva a inadequação metodológica no processo de ensino entre discentes surdos e ouvintes.

Tabacow (2006), investiga a produção teórica de seis pesquisadores na área de ensino/aprendizagem que posiciona o cérebro como foco central. O norte inicial desse trabalho foi o questionamento de pesquisadores brasileiros sobre o desempenho de discentes em teste

realizados fora e dentro do Brasil. O autor chama ao debate problemáticas como o uso de teorias pedagógicas falidas e que não demonstram sucesso algum quando comparada com procedimentos adotados por outras vertentes, tal como a neurociência educativa.

Nogueira et al (2005), no XVI Simpósio nacional de ensino de física apresentou o estudo designado por “Ensino de física para portadores de deficiência auditiva: o problema dos livros didáticos”. O ponto chave da investigação era buscar a problemática: considerando o livro didático um material essencial para o ensino de física, quais as principais dificuldades enfrentadas pelos discentes surdos no processo de aprendizagem da física considerando o livro didático como apoio base do discente surdo? Os autores evidenciaram que o livro didático não é um material adequado no processo de aprendizagem desses discentes.

Howard-Jones (2005), destaca no livro *The learning brain: Lessons for education* de Blakemore e Frith (2005), a importância efetiva da interdisciplinaridade para estudar as aplicações e implicações da neurociência cognitiva e ciências correlatas para a área educacional. Frisa ainda que as teorias pedagógicas atualmente empregadas em escolas que tratam do processo de aprendizagem carecem de provas sólidas e por vezes divagam do verdadeiro propósito.

Abreu (2014), apresenta sugestões de atividades didáticas em formato de sequência educacional para o ensino de física do olho humano, que favoreçam a participação de discentes surdos nas aulas de física, de forma a oportunizar uma aprendizagem significativa, com criação de sinais temporários para conceitos e conteúdo de física. O autor expõe ainda que obteve êxito, tanto no processo de aprendizagem como na criação de sinais provisórios e agrega que é totalmente possível o ensino de qualquer tema de física, desde que possua como norte uma perspectiva inclusiva. Entretanto o autor destaca que essa possibilidade sempre estará condicionada ao fazer docente.

Em 1960, foi fundada a entidade internacional independente, *International Brain Research Organization* (IBRO), com o caráter e objetivo de pesquisar problemáticas relacionadas ao cérebro humano, possuindo uma área educacional que integra a organização com o nome *Science and Technology Education*. Além disso a UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) que também faz parte dessa organização tem acenado positivamente para programas educacionais que abordam e vinculam as ciências cognitivas³ como um todo.

Campo de estudo multidisciplinar que tem como objetivo o entendimento da cognição. As áreas contribuintes são a Neurociência, inteligência artificial, filosofia, linguística, psicologia cognitiva, dentre outras. Historicamente sua evolução se deu pelo desenvolvimento de três correntes: cognitismo, conexionismo e atuacionismo (VARELA et al.,2003).¹

Borges e Nogueira (2016), trazem uma análise detalhada sobre o ensino de matemática para discentes surdos do 9º ano do ensino fundamental. Os autores coletaram informações em três aulas, em áudio, a fala da professora e, em imagens, os sinais utilizados pela intérprete. As principais conclusões que os autores chegaram foi: aulas de matemática que não contemplam as especificidades de alunos surdos por serem demasiadamente tradicionais; descompasso entre os sinais da intérprete e a fala da professora; uso de termos inadequados no ensino de matemática; ausência de interações entre surdos e alunos/professora ouvintes e incoerências na interpretação das atividades matemáticas. Ou seja, com essas informações evidenciaram a inadequação no processo de ensino de matemática para discentes surdos.

O *Max Planck Institute for Psycholinguistics*, localizado no campus da Universidade Radboud Nijmegen, trabalha com o desenvolvimento de pesquisas nas áreas de antropologia, linguística, psicologia, neurociência, genética, ciência da computação e tecnologias do arquivamento. Esse mesmo instituto também colabora com pesquisas mais restritas (Antropologia Evolutiva, Ciência Cognitiva Humana e Cérebro, Cibernética Biológica, Antropologia Social e História) em outros institutos como por exemplo *Donders Institute for Brain, Cognition and Behaviour* que também apresenta linhas de pesquisas mais restritas no que tange a neurociência cognitiva. Pode-se evidenciar algumas linhas de pesquisas desses dois institutos, que possuem paralelo com a presente dissertação: “Neurociência”, “Ciência da Computação”, “Ciências Cognitivas e Cérebro”, “Linguagem e Comunicação”, “Percepção, Ação e Controle”, “Plasticidade e Memória”, “Redes Cerebrais e Comunicação Neuronal”. Os pesquisadores (*staff*) do *Max Planck Institute for Psycholinguistics* são de mais de 20 países, destacando colaborações ativas com Estados Unidos, Europa, Austrália, Coreia, China e Japão.

Camargo (2005), avaliou cinco atividades de ensino de física para discentes com deficiência visual. O autor tratou do tema “aceleração”, e em toda as cinco aulas o autor avaliou que a ligação direta com outros sentidos, através de aulas práticas, era fundamental na compreensão dos discentes cegos. O autor afirma ainda que os discentes apresentam o mesmo nível de compreensão que um discente vidente, desde que lhe seja proporcionado a possibilidade de uma aula experimental.

Casais e Neto (2015), discutem os resultados de uma pesquisa realizada sobre a inclusão de discentes com transtornos invasivos de desenvolvimento (TID) ou autismo, em sala de aula de ciência. O referencial teórico utilizado pelos autores foi a semiótica cultural, que toma como hipótese inicial a existência de pontos de confluência com certos aspectos da Teoria da Mente de Baron Cohen. Essa discussão observada sobre a luz da semiótica cultural culminou em

resultados que permitem interpretar uma postura ativa do discente ao comparar com alunos sem o TID, mas analisados sobre a mesma óptica.

Castro (2015), desenvolveu uma sequência metodológica para o ensino de som e suas qualidades de maneira inclusiva, de forma a considerar discentes surdos e não surdos. O autor informa que para construção dessa sequência metodológica necessitou utilizar-se de tecnologia assistida e em paralelo desenvolver um material de apoio especificamente para os discentes surdos, buscando como referência as teorias de Ausubel sobre a aprendizagem significativa e de interação social de Vygotsky. O autor informa que os resultados obtidos relevam o quão importante são os recursos específicos no processo de inclusão e integração de discentes surdos e conclui afirmando que os discentes surdos aprendem significativamente o conteúdo de som, e que essa interação entre discentes surdos e ouvintes beneficiam a todos no âmbito escolar como especifica a teoria vygotskyana.

Colombo (2007), analisa o processo de articulação do conceito de referência na semiótica peirciniana. O autor seleciona como fundamento teórico para essa análise os estudos de Duval e o trabalho de Vergnaud sobre o campo conceitual. Tratou de estudar o mecanismo da estrutura tríade vinculada na representatividade semiótica e buscou inferência lógica sobre o que é a referência nesse processo e pretendeu com isso auxiliar na discussão acerca da constituição da linguagem matemática no âmbito das ciências com atributos para a educação matemática.

Marques et al (2012), apresenta uma investigação de literatura sobre a atenção visual em surdos, de maneira a colocar em evidência abordagens diversas que daí culminaram. Para tal, os autores buscando provar o desempenho visual face à privação sensorial auditiva em pessoas surdas, iniciaram uma discussão sobre o conceito de Atenção Visual em Pessoas Surdas. Prossegue-se com a caracterização de algumas abordagens e, em particular, das que giram ao redor das seguintes tarefas visuais: (i) Orientação da Atenção, (ii) Amplitude do Campo Visual e (iii) Sensibilidade ao Contraste. Grande parte da investigação corrobora a ideia de que a perda da capacidade auditiva em pessoas surdas acarreta em uma melhoria da capacidade visual.

Mazeti (2017), analisou qualitativamente uma proposta de sequência didática como alternativa para o ensino de acústica no ensino médio. O mesmo considerou como pilar teórico a aprendizagem significativa de Ausubel e retratou frente a tal análise que houve aprendizagem significativa, dados os critérios de formação em módulos que se subdividem em blocos de questão e perguntas, para com isso cativar o interesse dos discentes, como reza a teoria ausubeliana.

Errobidart et al (2014), indicam uma experimentação sobre o ouvido humano. Nessa experiência se emprega materiais de baixo custo para a manufatura de um aparato que é similar ao mecanismo de um ouvido. Levando-se em conta esse aparato é possível investigar diversas facetas fisiológicas e físicas do ouvido, entre eles o processamento do som e suas características. Afora isso, o autor relata que é possível tratar de maneira eficiente a utilização de auriculares e trazer ao debate os malefícios do uso continuado.

Vivas et al (2017), propõem dois experimentos didáticos voltado para o ensino de ondas sonoras, um de natureza mecânica e outro de natureza eletrônica, ambos sobre uma vista das tecnologias assistidas para inclusão de discentes surdos. O trabalho é voltado prioritariamente para discentes surdos do ensino médio. Os autores apresentam em um primeiro momento como a educação de estudantes surdos foi desenvolvida desde da antiguidade até os dias atuais e seguem em um segundo momento uma discursão sobre a física da voz humana. A discussão metodológica e pedagógica orbita em torno da visão vigotskiana, o que justifica a perspectiva inclusiva do trabalho. Nas considerações finais os autores demarcam o fato acerca do potencial uso didático, mas frisa que os experimentos ainda não foram devidamente utilizados em salas de aula.

Rodrigues e Alves (2012), apresentaram um estudo piloto que mesclava as disciplinas de Libras e estágio supervisionado em Física. A centralidade do trabalho baseia-se na tentativa de compreender como se dar a produção do material didático-pedagógico para o ensino de física, possuindo os alunos surdos como norte, para que através dele se possa construir melhorias na educação do discentes surdos. Os autores desse estudo utilizam como fundamentação a abordagem de formação de professores de física do ensino médio crítico-reflexiva entrelaçada com a educação bilíngue para surdos. Os procedimentos relatados derivam de uma visão qualitativa e aplicada dos conhecimentos de física, sendo mencionado ainda que, frente ao observado pelos autores, poderiam empregar filmes e vídeos para complementar a maneira tradicional das aulas. Em última oportunidade, o estudo informa que o material produzido como apoio para os discentes surdos são insuficientes e não surtem o efeito desejado no processo de aprendizagem, demonstram mais uma vez que a metodologia tradicional aplicada na educação dos surtos é incompatível com o processamento de aprendizagem dos mesmos.

Botan (2012), traz a luz três estudos de caso, onde são examinadas as ferramentas didáticas produzidas com uma característica potencialmente significativa para a aprendizagem de conteúdos de cinemática e para a efetiva inclusão de discentes surdos. O autor elabora e implementa em momentos distintos três tópicos de cinemática em grupos, contendo três

discentes surdos, de uma escola pública de Sinop/MT. Nesse trabalho a linha acompanhada pelo autor segue a Teoria da Aprendizagem Significativa e Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica, bem como pelos princípios da Educação Inclusiva e Ensino de Surdos numa perspectiva Bilíngue. Um dos resultados trazido pelo investigador é de que a inclusão de discentes surdos é promovida sem o atendimento às condições mínimas relativas às diferenças culturais e linguísticas e indicam que tais estudantes demonstram uma imensa deficiência linguística com respeito a língua portuguesa na modalidade escrita, gerando dificuldades maiores na compreensão dos conceitos de velocidade e aceleração. Ao fim o autor recomenda que para sanar esse problema seja empregado duas frentes: na ambiência escolar, enfocando a interação e adequação da comunidade ouvinte com a dos surdos; e na procura de meios de alfabetização eficazes que possam levar ao domínio da Língua Portuguesa em situações de ensino específicas para surdos.

Silva (2013), realizou uma investigação acerca das principais dificuldades e quais as possíveis estratégias didáticas que os professores de Física realizam para o ensino com discentes surdos, e cabe ainda reforçar que o estudo entrelaça um viés com o papel da língua brasileira de sinais na construção dos conceitos físicos expostos. A investigação possui também uma vertente etnográfica e foi realizada em três escolas, duas das quais fazem parte da rede estadual de ensino de São Paulo, sendo a primeira inclusiva, porém sem intérprete, a segunda inclusiva e com intérprete, e a terceira da rede particular, inclusiva e com intérprete. O autor traz a luz quatro questões centrais nos resultados apresentados: em um primeiro, relata que há questões estruturais da própria organização escolar que dificultam a integração de um intérprete ao corpo da escola na rede pública, em uma segunda oportunidade aponta a dificuldade envolvendo ação dos intérpretes no processo de tradução do português para a LIBRAS de determinados conceitos físicos em todas as escolas investigadas, na terceira parte, informa que os professores de física, mesmo quando buscam algum domínio em LIBRAS, não estão preparados para compreender e lidar com toda a cultura dos surdos nas escolas estudadas, e encerra demonstrando que um certo conjunto de docentes ainda resistem a aplicação de avaliação em LIBRAS nas escolas públicas. O autor conclui o trabalho revelando o descaso que há nas escolas públicas em detrimento das escolas particulares no contexto analisado.

Em nenhum dos trabalhos estudados e apresentados até o momento há um traço comum no que se almeja produzir nesta dissertação. Mas através do substrato teórico presente em cada texto e em algumas das vezes em linha diametralmente oposta ao tradicionalismo metodológico das aulas de física, opta-se por apresentar uma proposta que busca em características já bem

compreendidas do córtex humano uma maneira de ensinar frequência sonora a discentes com deficiência auditiva, ou uma forma do aluno surdo compreender o som.

3 ONDAS SONORAS E AUDIÇÃO HUMANA

Possivelmente a primeira inquietação humana a respeito do som se deu através da observação da natureza. Como o cantar de um pássaro, o som do trovão associado a queda de um raio, posteriormente a ritmação e desenvolvimento de instrumentos musicais. Para Cavini (2011), historicamente o som sempre se vinculou a música, com os gregos sendo os primeiros que apartaram o som da música e iniciaram uma profunda investigação sobre a natureza desse fenômeno.

As primeiras fontes históricas de investigação a respeito do som datam da Grécia Antiga – aproximadamente 2500 anos -, algumas das primeiras tentativas na direção de explicar o som estão contidas nos trabalhos de Aristóteles (384-322 a.C.), que tentou clarear o conceito de som como resultado da movimentação das massas de ar, movimentação esta que resultaria de um movimento oriundo da fonte. Aristóteles somou a esta ideia uma consideração acerca da altura, - nos trabalhos de Aristóteles, altura corresponde ao conceito moderno de frequência -, ou seja, a percepção de diferentes alturas corresponderia a diferentes velocidades do som.

Retrocedemos um pouco na escala de tempo até os pitagóricos (550 a.C.), chega-se de fato na primeira tentativa de descrever o som através de uma relação matemática, ou seja, os pitagóricos observaram que havia uma relação de 2:1 entre os comprimentos das cordas de dois monocórdios diferentes quando eram tocados ao mesmo tempo, e que produzia um efeito de consonância.

Os anfiteatros da Grécia Antiga são provas tangíveis do conhecimento dos gregos acerca do som, que mais tarde conjugam-se na área da acústica. Até os dias atuais, estruturas como auditórios, teatros, salas de conferências, igrejas e anfiteatros compartilham princípios dos mesmos conhecimentos gregos sobre o som.

Na cidade de Roma, durante o governo do imperador Júlio Cesar (100-44 a.C.), as bigas⁴ foram proibidas de circularem próximas aos centros urbanos, prioritariamente, a noite. Tal medida foi levado a cunho pelos demais sucessores, culminando em uma ordem mais ampla no período de Marco Aurélio (121 - 180 d.C.), expandindo-a ao império por completo.

Ao caminharmos aproximadamente 1450 anos, entre os anos de 1636 e 1638, Marin Mersenne (1588-1648), no livro *Harmonicorum liber* (1636) e Galileo Galilei (1564-1642), no livro “Discursos sobre os Dois Grandes Sistemas do Mundo” (1638), ambos de maneira independente, atrelam indubitavelmente o conceito de altura sonora ao conceito de frequência

⁴ Carroça de duas rodas, movidas por um ou dois cavalos e muito utilizada na Roma antiga.

de vibração. Entretanto, apenas no trabalho de Mersenne (1636) é que se encontra exposto em primeira mão a relação entre frequência de uma corda tensionada, dado o comprimento, densidade, diâmetro e tensão com relação a outra corda com as mesmas características conhecidas.

Uma vez estabelecida a relação entre a altura sonora e frequência de vibração, Savart (1830), o mesmo da lei de Biot-Savart, inicia um árduo trabalho na determinação das frequências limites audíveis em seres humanos. Savart desenvolveu um tipo de roda dentada, instrumento capaz de medir frequências de um som. Em sua época, Savart estabeleceu valores entre 8Hz e 24kHz, valores muito próximos dos atualmente aceitos que são 20Hz a 20kHz. Com a mesma envergadura do desafio anterior, Toepler (1836-1912) e Boltzmann (1844-1906), no ano de 1870, lançam um trabalho com intuito de determinar o limite mínimo de intensidade sonora audível.

Ainda no século 17, em uma das maiores obras da física, ‘Princípios Matemáticos da Filosofia Natural’ (1686), Isaac Newton (1642-1727), apresenta sua teoria de propagação do som no ar, onde pulsos de pressão propagam-se por meio de partículas vizinhas em uma mesma massa de ar. Quase um século depois, cientistas como d’Alembert, Lagrange e Euler revisam, melhoram e alinham, em alguns pontos – transmissão de energia - a teoria de Newton.

Entre os séculos 16 e 17, descobrimos uma batalha entre duas novas teorias que tratam sobre o que é o som e sua propagação. De um dos lados está o modelo corpuscular e do outro o modelo ondulatório.

Gassendi (1592-1655), que era contrário ao pensamento aristotélico, conjecturou que o som fora formado de átomos emitidos por uma fonte sonora. Um de seus apoiadores, o físico experimental Athanasius Kircher (1602-1680), em 1650 realizou a primeira experiência de propagação sonora no vácuo. Baseado no resultado de tal experimento, Kircher, corroborou o modelo de Gassendi. O resultado obtido por Kircher, somente é explicável levando em consideração um baixo nível de vácuo.

Do outro lado está Robert Boyle (1627-1691), que em 1660, em outro experimento e possuindo um nível de vácuo bem maior, provou cabalmente a necessidade de uma massa de ar na propagação do som, reforçando assim o modelo ondulatório. Os modelos corpusculares e ondulatórios não possuem um peso significativo no estudo da natureza do som como quando se consideram os modelos propostos para a natureza da luz.

No ano de 1673, Kircher (1602-1680), publica um livro denominado *Phonurgia Nova*, dando o pontapé inicial na criação da acústica geométrica. Tanto os fenômenos de reflexão sonora como o do eco são aclarados mediante a utilização de raios acústicos, baseando-se na

lei de reflexão da luz proposta por Euclides (330-270 a.C.). Entretanto, somente 40 anos depois, em 1713, Taylor (1685-1731) – o pai das séries que carregam seu nome – publica um trabalho que integra e permite a determinação analítica das frequências de vibração em uma corda tensa, em função de seu comprimento, densidade linear e tensão, garantindo ainda concordância com as leis experimentais de Galileu e Mersenne. Nos anos posteriores a publicação de Taylor, cientistas como Leonard Euler (1707-1783), Jean le Rond d’Alembert (1717-1783) e Daniel Bernoulli (1700-1782) generalizam e aperfeiçoam o método proposto por Taylor, com a introdução de derivadas parciais. Mas somente em 1747, d’Alembert deduziu matematicamente a relação diferencial de propagação ondulatória, que atualmente recebe a alcunha de equação de onda.

Treze anos antes do trabalho de Taylor (1713), Sauveur (1700), já havia feito observações a respeito de cordas em vibração. Havia notado que determinados pontos da corda não vibravam, designando-os por nós, enquanto outros vibravam de maneira mais intensa, nominando-os por ventres. Sauveur identifica que tal comportamento oscilatório era ocasionado por frequências acima da frequência de oscilação da corda por completa, e observa que frequências mais altas guardavam uma proporcionalidade – múltiplos inteiros – com as frequências mais baixas. O grupo de todas essas frequências é denominado por Sauveur de harmônicos, correspondendo a frequência da corda como um todo de primeiro harmônico ou harmônico fundamental.

Bernoulli (1700-1782), no ano de 1755, apoiando-se nas observações de Sauveur (1700) e no trabalho de 1747 de d’Alembert, prova, ainda que teoricamente, que uma dada corda tensionada oscila de modo a conter múltiplos harmônicos, e que a oscilação de um dado ponto da corda, é igual à soma algébrica dos descolamentos produzidos por cada harmônico individualmente. Essa aferição teórica mais tarde receberá o nome de princípio da superposição.

Lagrange (1736-1813), quatro anos depois de Bernoulli, em 1759, propõe um modelo para cordas vibrantes. As cordas seriam agora consideradas como massas igualmente intervaladas, ligadas por molas de constante elástica iguais entre si. O modelo que foi apresentado por Lagrange até hoje tem diversas aplicações na engenharia e física, como também na dedução das observações de Sauveur acerca dos harmônicos.

No célebre livro intitulado “Teoria Analítica Do Calor” de 1822, Fourier (1768-1830), não apenas prova, mas demonstra e usa como fundamento o princípio da superposição de Bernoulli de 1755, que seja qual for a excitação oscilatória periódica, essa poderá ser decomposta em uma base linearmente independente de um, seno e cosseno, que resultará em uma soma algébrica de senos e cossenos – conhecida como série de Fourier -, cujas as

frequências dessas funções são múltiplos inteiros do primeiro harmônico - frequência fundamental.

Apenas no ano de 1759, aparece a primeira teoria que usa unicamente os princípios da dinâmica dos fluidos que é proposta por Euler. Nessa mesma publicação é deduzida de forma maestral a equação da onda unidimensional para uma propagação sonora em um fluido. O formalismo proposto por Euler no século 18 é levado em conta até hoje, principalmente para ondas que se propagam em um fluido, salve a consideração imposta para pequenas amplitudes na perturbação – um processo denominado por acústica linear -, Laplace (1749-1827), propõe outro formalismo em seu livro *Méchanique Céleste* (1825), onde considera a relação entre pressão e densidade.

A principal ponderação entre os formalismos do século 18 e do século 19 é a consideração de um processo adiabático ao invés de um processo isotérmico. Com a ponderação acerca de um processo adiabático, os valores teóricos para a velocidade do som cada vez mais se acercavam dos valores experimentais encontrados por Viviani (1622-1703), em 1656, por Boreli no mesmo ano e pela Academia das Ciências de Paris no ano de 1738.

No início do século 19, por volta do ano de 1808, Biot (1774-1862), lança luz finalmente sobre a variabilidade da velocidade do som conforme o meio de propagação. O experimento de Biot consistia em fazer o som se propagar por uma barra de ferro de aproximadamente 1 km, e posteriormente comparar-se o tempo de propagação no ferro com o tempo de propagação do ar. Após comparar os resultados, Biot, prova que o som viaja bem mais rápido no ferro em comparação com o ar. Dezesesseis anos depois do experimento de Biot, Sturn (1803-1855) e Colladon (1802 -1893), elaboram outro experimento que consistia na emissão de pulsos luminosos que eram utilizados na mensuração do tempo de propagação do som na água quando um sino era acionado. Eles chegaram a marca de 1435 m/s a 8°C, valor bem mais próximo do valor atual.

Poisson (1781-1840), três anos antes do experimento de Sturn (1803-1855) e Colladon (1802 -1893), em 1823, expõe sua teoria acerca da propagação sonora em um tubo contendo ar, prevendo inclusive o fenômeno de ondas estacionárias. Todavia, três anos antes, no ano 1820, Poisson já havia demonstrado a propagação sonora em três dimensões. Helmholtz (1821-1894), nos anos de 1860, refina a teoria de Poisson na direção de incluir variáveis que dependem da energia do meio.

Entre os trabalhos de Helmholtz e Poisson, temos um período de 37 anos aproximadamente. Nesse intervalo de tempo, Gree (1793-1841), em 1838 e Doppler (1803-1853), em 1842, resolvem e demonstram propriedades importantes sobre certas características

do som. O primeiro resolve o espinhoso problema acerca da refração e reflexão de ondas sonoras planares com incidência transversal entre a superfície de partição de dois meios. Já Doppler, demonstra que conforme a variação da posição entre fonte e detector, levando em questão a velocidade relativa entre os mesmos, há uma variação na detecção da frequência.

Outros trabalhos importantes que merecem vista, são os de Stokes (1819-1903) e Navier (1785-1836), que no decorrer dos anos de 43 a 45 do século 19, estudaram com afinco os efeitos da viscosidade e os processos dissipativos na propagação do som, que implicam na famosa relação ou equação constitutiva de Navier-Stokes. Anos depois, em 1857, Stokes segue investigando os efeitos do vento na propagação do som.

Uma ressalva interessante deve ser levada em conta, o trabalho de Hooke (1635-1703), que relaciona deformidade elástica em sólidos a tensão sofrida pelos mesmos, publicado em 1676, conhecido posteriormente como lei de Hooke, foi fundamental para a generalização e posterior adaptação dos modelos analíticos para propagação de ondas em fluidos e cordas tensionadas. Apoiado no trabalho de Hooke, Bernoulli arduamente em 1751, propõe a relação diferencial de quarta ordem para ondas oblíquas - transversais- que se propagam em uma barra. Em 78 desse mesmo século, Chladni (1756-1824), demonstra experimentalmente a localização de nós, ao dispor areia sobre uma placa oscilante. As figuras observadas sobre essa placa foram designadas por figuras de Chladni. Nos chama a atenção o fato de Napoleão Bonaparte (1769-1821), devido a popularização dessas figuras, oferecer em 1815 um prêmio de 3000 francos a quem fosse capaz de elaborar uma teoria matemática adequada para as placas vibrantes e as figuras observadas. Germain (1776-1831) foi honrado com tal prêmio ao desenvolver satisfatoriamente a relação diferencial de quarta ordem, que descrevia precisamente esse comportamento. Trinta e cinco anos depois, Kirchhoff (1824-1887), por volta de 1850, de maneira fenomenal, seleciona condições fronteiriças que aprimoram o trabalho de Germain.

Em 1912, combinando mecânica quântica aos modos de oscilação dos sólidos, o conceito de fônon é incorporado a teoria quântica por Debye (1884-1966), ao quantificar as ondas sonoras. Essa conjugação lança luz sobre a condutividade térmica dos isolantes elétricos e na elucidação da supercondutividade em alguns metais. Entretanto, quase três décadas antes, Rayleigh (1842-1919), lança o trabalho intitulado *Theory of Sound* (1877), onde estende a maior parte do conhecimento científico acerca da acústica, incluindo conceitos como função de dissipação, condutividade acústica de um orifício, teoria da reciprocidade acústica e representação esquemática complexa. O trabalho de Rayleigh foi fundamental para o nascimento do conceito de fônon proposto por Debye.

Em meados do século XIX, observa-se os primeiros trabalhos apresentados a comunidade científica no intuito de compreender como o sistema auditivo humano discrimina as diferentes frequências. Ohm (1789-1854), o mesmo da lei de Ohm da eletricidade, inaugura essa vertente propondo que as sensações de frequências sonoras são proporcionais às frequências fundamentais dos sons percebidos e, por conseguinte o timbre é uma associação multicombinada das intensidades de cada harmônico do som original. Nessa proposta está o gérmen do que mais tarde será denominado de psicoacústica.

Fechner (1801-1884), ao redor de 1860, exatamente 27 anos depois do trabalho de Ohm, publica um estudo denominado *Elements of Psychophysics*, no qual assenta subsequentemente, que: há uma proporção multiplicativa para o estímulo e aditiva para a sensação. Essa conclusão exposta por Fechner, em 1860, mais tarde levou a alcunha de Lei de Fechner-Weber. Estudos contemporâneos já demonstraram a não universalidade e a inexatidão dessa lei, todavia ainda é considerada a base da psicofísica.

Apenas dois anos depois da publicação de Helmholtz acerca do trabalho de Poisson, outro trabalho intitulado *On the Sensations of Tone* (1862), vem na direção de corroborar os estudos de Ohm, sendo esse também fruto das investigações de Helmholtz. De maneira inovadora Helmholtz propõe que: o ouvido humano considerado como um todo deve possuir inúmeros ressonadores, que quando sintonizados em frequências distintas culminam em um processo de análise espectral no domínio da frequência. Estudos mais modernos como os feitos no Instituto Central do Cérebro demonstraram que as investigações de Ohm e Helmholtz seguia na direção correta, entretanto o processamento auditivo cerebral é por vezes mais complexo do que propunham esses dois investigadores.

No início do século XX, por volta dos anos de 1923, Fletcher (1884 - 1981), considerado por muitos como o pai do som estereofônico, propõe o conceito de *Unidade de Sensação Auditiva*, a qual é definida como: o valor médio do quadrado da pressão sonora, na base 10, gera um incremento de 0.1 na escala logarítmica, o que corresponderia ao aumento de uma unidade de sensação auditiva. Um ano depois, em 1924, o *bel* é proposto pela The International Advisory Committee on Long Distance Telephony em homenagem Alexander Graham Bell (1847-1922), sendo o bel equivalente a uma unidade de sensação auditiva. Mais tarde o decibel, ou seja, a décima parte do bel tornou-se mais popularizada.

Munson (1902 - 1982) e Fletcher (1884 - 1981), estabelecem as famílias de curvas de iguais sensações de intensidade em função das frequências, criando o conceito de *fone*. O psicólogo S. S. Stevens (1906 - 1973), em 1957, estabelece a lei de potência de Stevens, relação

com maior rigor entre sensação de intensidade e intensidade sonora. Graças a essa lei o conceito de *sona* é proposto.

Tecnologias como ultrassons e sonares são amplamente desenvolvidos na segunda grande guerra mundial, implicando em análises que não necessitam da intervenção destrutiva. Os estudos realizados em pleno século XX culminaram no advento da acústica de ambientes fechados - acústica de análise de prédios -. Todavia essa problemática em verdade remonta a Roma e Grécia antiga, entretanto o estudo de Sabine (1868-1919), publicado em 1898 e intitulado *Architectural Acoustic*, é considerado o marco atual da acústica de ambientes fechados. Nesse trabalho o autor estabelece a relação analítica para obter o tempo de reverberação em uma sala fechada dada as dimensões do ambiente. Haas (1949), descreve em sua tese de doutorado o efeito que carregado seu nome, ou seja, são necessários 40 ms de intervalo entre dois sons para o ouvido humano detecte sons de natureza diferentes. Na publicação *Music, Acoustics and Architecture*, Beranek (1962), relaciona pela primeira vez aspectos subjetivos acerca da qualidade sonora com características objetivas do ambiente, por exemplo: tempo de reverberação, tempo de atraso da 1ª reflexão e relatividade ao som direto.

Na década de 1980, inicia-se os estudos sobre compressão de áudio que implicariam na criação do formato de áudio MP3. Contudo em 1890, Poulsen (1869 - 1942), já havia realizado as primeiras gravações de áudio em suporte magnético, mas apenas em 1916, Wente (1889 - 1972), cria o microfone de condensador.

3.1.1 ONDAS

Como se pode observar na historiografia tratada anteriormente, a evolução matemática na tentativa de modelar uma teoria física do som por vezes se mescla com o estudo de ondas em uma corda. Esse fato é baseado no princípio fundamental de que não apenas o som, bem como as ondas que se propagam em uma corda, prioritariamente são formadas por alguma fonte que emitem sinais oscilatórios. Considerando esses argumentos apresenta-se aqui uma descrição física, iniciando-se na propagação de ondas em cordas e finalizando-se com ênfase nas ondas sonoras. Apóia-se para essa discussão nos livros-textos de física básica universitária, tais como Nussenzveig (1998), Halliday (2008) e Tipler (2009).

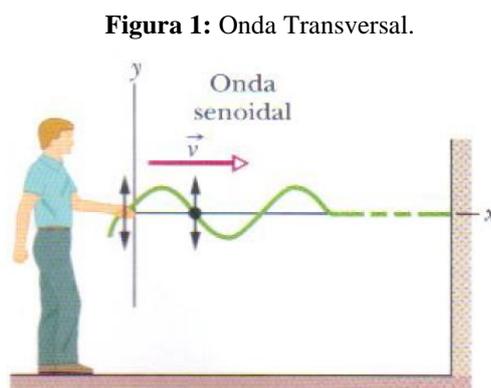
3.1.2 ONDAS E SEUS TIPO

Atualmente as ondas são classificadas em quatro tipos, entretanto apenas três dessas são conhecidas em maior profundidade. É costumeiro classificá-las de acordo com o meio de propagação ou a entidade formadora do fenômeno, como segue abaixo:

- Ondas Mecânicas: necessitam de um meio para se propagarem;
- Ondas Eletromagnéticas: não necessitam de um meio para se propagarem;
- Ondas de Matéria: os entes formadores são partículas elementares;
- Ondas gravitacionais: deformidades que se propagam no espaço tempo.

As ondas mecânicas descritas daqui por diante, também podem ser classificadas de acordo com a direção de propagação levando em consideração a orientação da perturbação no meio, dividindo-as em duas categorias:

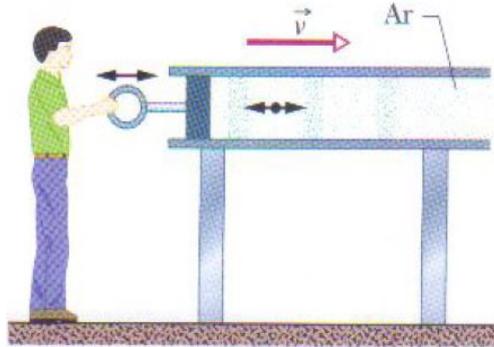
1. Ondas transversais: a direção de propagação é perpendicular ao movimento do meio, figura (1).



Fonte: Halliday (2009).

2. Ondas longitudinais: a direção da propagação é paralela ao movimento do meio, figura (2).

Figura 2: Onda Longitudinal: Onda Sonora.



Fonte: Halliday (2009).

3.1.3 ONDAS EM UMA CORDA

Essa seção tratará de ondas que se propagam em uma corda, ou seja, ondas transversais. A modelagem matemática pura desse tipo de onda é consideração espinhosa e foge do escopo desse capítulo, logo algumas das expressões apresentadas não estarão acompanhadas de suas devidas provas físico-matemáticas.

3.1.4 Comprimento de onda e frequência

Para ser bem analisada, uma onda propagando-se em corda deve necessariamente possuir uma função que a expresse enquanto forma de onda, segundo Nussenzveig (1998). Um tipo de função a ser considerada como apropriada para tal seria $y = h(x, y)$, onde y representa o deslocamento vertical de um elemento qualquer da corda e h é uma função do tempo e da posição x no eixo, que foi consideração a propagação da onda, para Halliday (2008).

Uma função senoidal como descrita na eq. (1) logo abaixo é particularmente uma escolha apropriada, visto que possui as exigências teóricas para representação de um fenômeno ondulatório e periódico. A escolha entre uma função seno ou cosseno é mera arbitrariedade, pois seno e cosseno são representações de uma mesma função com um atraso ou adiantamento de fase uma com relação a outra.

$$y(x, t) = y_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (1)$$

Alguns parâmetros da função acima merecem descrição apropriada:

- y_m : representa a amplitude máxima da corda;
- $kx - \omega t$: esse termo é denominado por fase;
- k : definido como número de onda;
- x : posição no eixo x ;
- ω : frequência angular;
- t : tempo;

Para deduzir o conceito de número da onda k na eq. (1), poderemos sem perda de generalização impor $t = 0$ e estudarmos o comportamento da eq. (1) em $y(x, 0)$. Recordemo-nos ainda que o comprimento de onda λ é definido como a distância paralela a direção de propagação entre dois pontos x_1 e x_2 consecutivos com a mesma altura y , conforme pode-se observar na figura (1).

A figura (1) nos mostra que a onda somente se repetirá após o intervalo espacial de $x = \lambda$, ou seja: $x = x_1$ e $x = x_2 = x_1 + \lambda$. Entretanto a função seno apenas apresentará uma repetição depois de um aumento de 2π rad. Essas informações garantem que o número de onda k poderá ser descrito como:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2)$$

3.1.5 Período, frequência angular e frequência

Levando em conta o raciocínio desenvolvido para o estabelecimento do número de onda k , podemos de maneira similar deduzir o conceito de frequência e frequência angular na para a eq. (1). Considerando $x = 0$ em eq. (1), teremos $y(0, t) = -y_m \text{sen}(\omega t)$. Recordemo-nos que o período T é definido como o intervalo de tempo necessário para realizar-se um ciclo completo de uma determinada oscilação, que em suma seria ir de um tempo t_1 ao tempo $t_2 = t_1 + T$ com a mesma altura $y(0, t)$. Pode-se observar essa definição na figura (2).

Como estamos tratando de uma onda periódica de período T e como bem podemos notar que a função seno apenas repete um ciclo, quando passado 2π rad. Essas informações garantem que a frequência angular ω seja escrita como:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

O período relaciona-se com a frequência f , através da expressão:

$$T = \frac{1}{f} \quad (4)$$

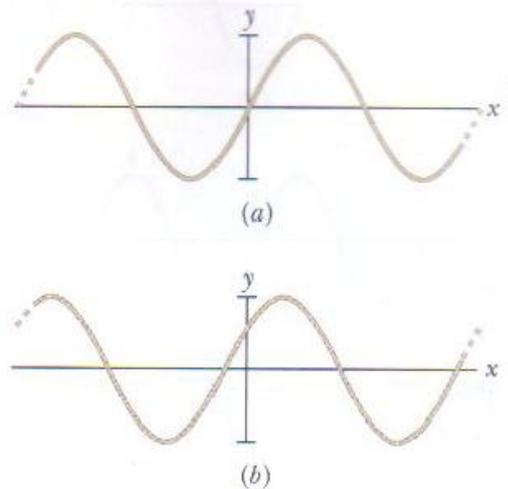
Garantimos assim que ω e f , vinculam-se através de:

$$\omega = 2\pi f \quad (5)$$

3.1.6 Velocidade de uma onda progressiva

Considerando o gráfico de $y(x, t)$ em função apenas de x , quer-se com isso analisar apenas um instantâneo, ou seja, um instante parado no tempo tal qual uma foto, da onda. Pode-se observar essa imposição na figura (3).

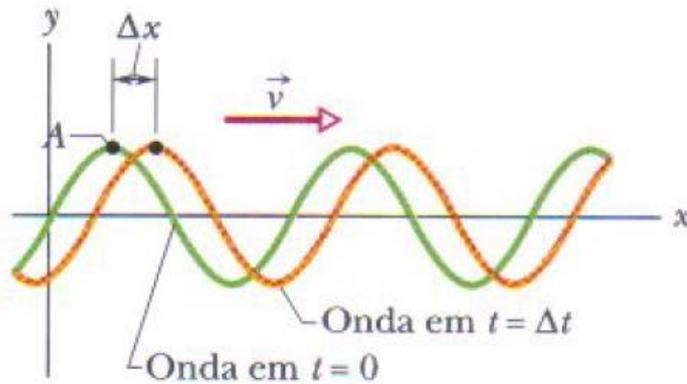
Figura 3: Onda progressiva em $t=0$ com constantes de fase ϕ diferentes.



Fonte: Halliday (2009).

Supondo-se que a onda se desloque para a direita um valor Δx , observar-se na figura (4).

Figura 4: Instantâneos de uma onda transversal em $t=0$ e $\Delta t=t$.



Fonte: Halliday (2009).

Observando-se o comportamento do ponto A na figura (4), logo após um deslocamento Δx , nota-se que os valores de $y(x, t)$ permanecem inalterados, deduzir-se-á que a fase $kx - \omega t = \text{constante}$, visto que a fase é o fator que altera a posição inicial com relação $y(x, t)$ na propagação. Calculando-se a derivada temporal do termo $kx - \omega t$, chega-se a velocidade de propagação da onda igual a:

$$v = \frac{\omega}{k} \quad (6)$$

Com a devida manipulação algébrica nas eqs. (2) e (3), chegar-se-á a outras formas de expressões para a velocidade da onda:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (7)$$

$$v = \lambda f \quad (8)$$

Utilizando-se $-x$ na eq. (1) em invés de x , ou seja, a onda deslocar-se-á para esquerda, obtém-se:

$$v = -\frac{\omega}{k} \quad (9)$$

Observação: o sinal negativo representa o sentido da velocidade.

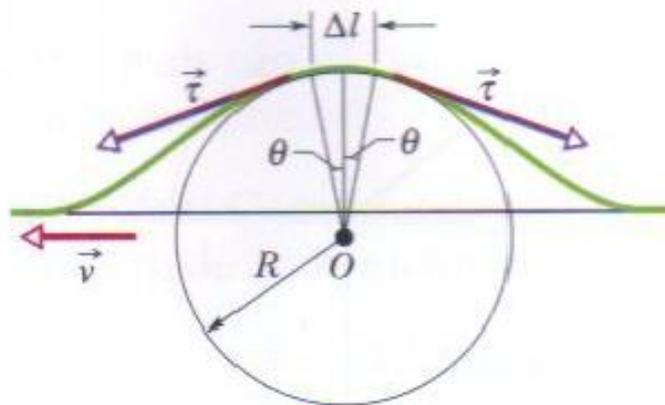
3.1.7 Velocidade de propagação da onda em uma corda tensionada

A dedução da velocidade de propagação da onda em uma corda tensionada é mais complexa que a anteriormente obtida. Levando-se em consideração essa informação, propõe-se duas ponderações para facilitar a obtenção dessa velocidade:

- O referencial não mais está fixo;
- O novo referencial viajará com o pulso de onda.

Com essas ponderações quer-se em verdade dizer que: caso o pulso de onda propague-se da esquerda para direita, dadas as duas ponderações, agora o pulso de onda será fixo e o referencial propagar-se-á da direita para esquerda. Usando essas considerações e analisando as forças em questão, figura (5), nota-se que as a) componentes horizontais cancelam-se, todavia, há soma nas b) componentes verticais, implicando em:

Figura 5: Pulso simétrico, visto a partir de um referencial no qual o pulso está estacionário e a corda parece se mover da direita para esquerda com velocidade v .



Fonte: Halliday (2009).

$$\tau_{horizontal} - \tau_{horizontal} = 0 \quad (10)$$

$$\tau_{vertical} - \tau_{vertical} = F \quad (11)$$

Recordando-se das leis de Newton e realizando algumas manipulações algébricas, obtém-se:

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}} \quad (12)$$

A relação (12) informa-nos que “velocidade de propagação da onda em uma corda ideal tensionada é diretamente proporcional a tensão τ a qual a corda está submetida e inversamente proporcional a densidade linear μ da corda”, (HALLIDAY, 2009).

3.1.8 Energia e potência de uma onda progressiva em uma corda tensionada

Uma análise feita sobre os dois principais tipos de energias, cinética e potencial elástica, revela-se importante sobre dois aspectos:

- Energia cinética está associada ao movimento de um elemento de massa dm na direção transversal. A velocidade se anula em pontos iguais a $\pm y_m$; em pontos como esses a energia cinética é zero. Entretanto no ponto $y = 0$ a energia cinética é máxima e assume o valor de $K = \frac{1}{2}dmu^2$;
- Energia potencial elástica está associada a elongação de um elemento de massa dm . Em pontos iguais a $\pm y_m$ a energia potencial elástica é nula; pontos de menor elongação. Para $y = 0$, tem-se elongação máxima do elemento de massa dm , implicando em uma energia potencial elástica máxima.

O transporte de energia está vinculado a potência, essa definida como é quantidade de energia por unidade de tempo. Através da manipulação adequada de $K = \frac{1}{2}dmu^2$ e do conceito de potência, chega-se a expressão para a potência média, logo abaixo:

$$P = \frac{1}{2}v\mu y_m^2 \omega^2 \quad (13)$$

3.1.9 Princípio da superposição de ondas e interferência

Considera-se apenas duas ondas, sem perde de generalização, $y_1(x, t)$ e $y_2(x, t)$, que se propagam através de uma corda, diz-se que a onda resultante ou o deslocamento da corda quando as ondas se propagam é dado pela soma algébrica abaixo:

$$y_{res}(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad (14)$$

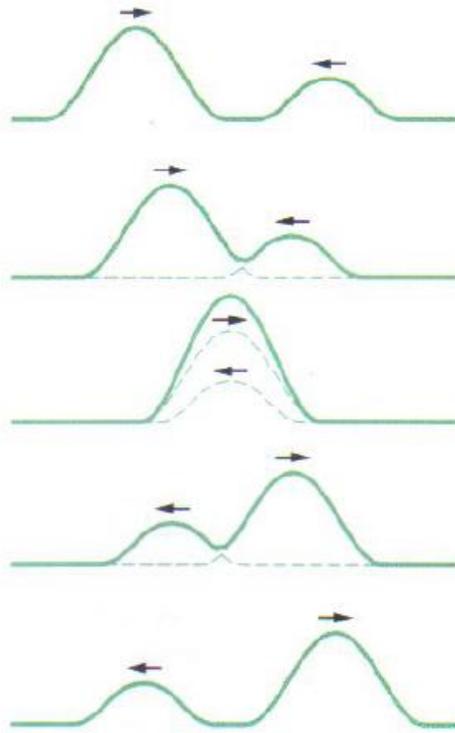
Pode-se observar na figura (6) que ondas superpostas não se afetam mutuamente. Com relação a interferência de ondas, considera-se três pontos a ponderar:

- Ondas de mesmo comprimento de onda λ ;
- Ondas de mesma amplitude máxima y_m ;
- Propagam-se no mesmo sentido.

Atrelando-se o princípio da superposição aos três pontos acima, tem-se:

$$y_1(x, t) + y_2(x, t) = y_{res}(x, t) \quad (15)$$

Figura 6: Uma série de instantâneos que mostra dois pulsos se propagando em sentidos opostos em uma corda estacionária. O princípio da superposição se aplica quando os pulsos passam um pelo outro.



Fonte: Halliday (2009).

A forma de onda resultante baseada na eq. (15) acima dependerá da constante de fase φ relativa entre as ondas. O fenômeno resultante da combinação entre duas ondas receberá o nome de interferência. A eq. (16) resultante da expansão e manipulação algébrica da eq. (15) será:

$$y_{res}(x, t) = 2y_m \left[\cos \frac{\varphi}{2} \right] \text{sen} \left(kx - \omega t + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (16)$$

Onde:

- y_{res} : denomina-se deslocamento;
- $2y_m \left[\cos \frac{\varphi}{2} \right]$: termo de amplitude;
- $sen(kx - \omega t + \frac{\varphi}{2})$: termo oscilatório.

Um fato interessante a respeito da interferência: a onda resultante se propaga no mesmo sentido que as ondas $y_1(x, t)$ e $y_2(x, t)$, mas apenas a resultante é visível. Tem-se três possibilidades de análise para a constante de fase φ que implicariam em três tipos de interferências:

1. Para $\varphi = 0$ ou $\varphi = 2\pi$, não há defasagem entre as ondas, isso produziria uma onda resultante da seguinte forma:

$$y_{res}(x, t) = 2y_m sen(kx - \omega t) \quad (17)$$

2. Para $\varphi = \pi$, há uma defasagem de π rad, isso produziria uma onda resultante da seguinte forma:

$$y_{res}(x, t) = 0 \quad (18)$$

3. Para valores intermediários de $0 < \varphi < 2\pi$, há interferência entre valores máximos e mínimos sendo denominada por interferência intermediária.

Uma outra maneira interessante de observar o mesmo comportamento, mas agora com relação ao comprimento de onda λ , é:

- Para o caso de $\varphi = 2\pi$, tem-se um deslocamento de um comprimento de onda, o que resulta em uma relação de proporcionalidade como se segue:

$$\begin{aligned} 2\pi &= \lambda \\ \varphi &= N_\lambda \end{aligned}$$

A proporcionalidade acima acarreta na relação:

$$N_\lambda = \left(\frac{\varphi}{2\pi} \right) \lambda \quad (19)$$

Onde:

N_λ , é o número de comprimentos de onda.

De forma concisa o resultado acima é interpretado como:

- Caso φ seja igual a $(n + \frac{1}{2})\lambda$, com $n = 0, 1, 2, \dots$, a interferência será completamente destrutiva;

- Caso φ seja igual a $n\lambda$, com $n = 0,1,2, \dots$, a interferência será completamente construtiva;
- Para os demais casos será intermediária.

3.1.10 Ondas estacionárias e ressonância

Considera-se duas ondas estacionárias $y_1(x, t)$ e $y_2(x, t)$, que se propagam em sentidos opostos. Lançando-se mão sobre o princípio da superposição, obtém-se a eq. (20) logo abaixo:

$$y_{res}(x, t) = [2y_m \text{sen}(kx)] \cos(\omega t) \quad (20)$$

Onde:

y_{res} : deslocamento;

$[2y_m \text{sen}(kx)]$: termo de amplitude;

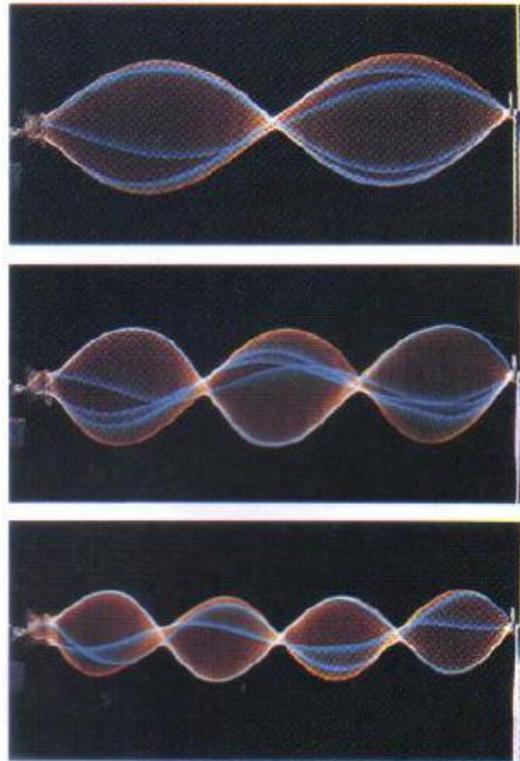
$\cos(\omega t)$: termo oscilatório.

Analisando-se a eq. (20), tem-se três comportamentos interessantes:

- O termo de amplitude é zero para valores de $x = n\frac{\lambda}{2}$, com $n = 0,1,2, \dots$, os pontos aos quais a amplitude torna-se zero são designados por nós;
- Os pontos onde a amplitude assume valores de máximo são denominados antinós e aparecem para valores de $x = (n + \frac{1}{2})\frac{\lambda}{2}$, com $n = 0,1,2, \dots$;
- Cada antinó está situado no ponto médio de dois nós.

O fenômeno de ondas estacionárias forma uma configuração como a representada na figura (7).

Figura 7: Ondas estacionárias – fotografia estroboscópica.



Fonte: Halliday (2009).

Observar-se também que para uma corda de comprimento L , fixada entre dois pontos, para uma dada frequência f , a corda vibrará com uma configuração de nós e antinós que obedecem a expressão , logo abaixo:

$$f = n \frac{v}{2L} \quad (21)$$

As ondas estacionárias que formam essa configuração podem ter n harmônicos, ou seja, n antinós para cada frequência de ressonância f que obedece a relação logo acima. O primeiro harmônico, $n = 1$, é denominado por harmônico fundamental.

3.2 ONDAS SONORAS

Conforme o contexto histórico e os livros-textos universitários, a matemática utilizada na descrição dos processos sonoros é equivalente a empregada na descrição das ondas em uma corda. De forma genérica e segundo Halliday (2009), uma onda sonora pode ser definida como qualquer onda longitudinal.

3.2.1 Velocidade do som

Os trabalhos produzidos no século 19 por cientistas como Biot (1774-1862), Sturn (1803-1855) e Colladon (1802 -1893), comprovaram a variabilidade que a velocidade do som apresenta conforme o meio. Atualmente livros-textos de física universitária como Nussenzveig (1998), resume esse resultado em três proposições:

- Depende das propriedades inerciais e elásticas do meio;
- As propriedades inerciais do meio estão associadas a massa específica ρ ;
- As propriedades elásticas do meio estão associadas ao módulo de elasticidade volumétrico β .

Módulo de elasticidade volumétrico definido como $\beta = -\frac{\Delta p}{\Delta V/V}$, o sinal negativo origina-se devido a proporcionalidade inversa entre pressão e volume, ou seja, um acréscimo positivo Δp , implica em um acréscimo negativo em Δv .

Levando-se em conta tais ponderações oferecidas por Nussenzveig (1998), bem como por Halliday (2009), tem-se a velocidade do som:

$$v = \sqrt{\frac{\text{propriedade elástica}}{\text{propriedade inercial}}} = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}} \quad (22)$$

$$v = \sqrt{\frac{\beta}{\rho}} \quad (23)$$

3.2.2 Ondas sonoras progressivas

As ondas transversais produzem deslocamentos verticais $y(x, t)$ em uma corda. Deslocamentos semelhantes são observados por ondas longitudinais, salve-se o fato desses deslocamentos produzirem compressão e rarefação no meio ao qual a onda se propaga. Considerando-se uma propagação na direção do eixo x , a posição de um pulso de onda nesse meio pode ser descrita através da eq. (24):

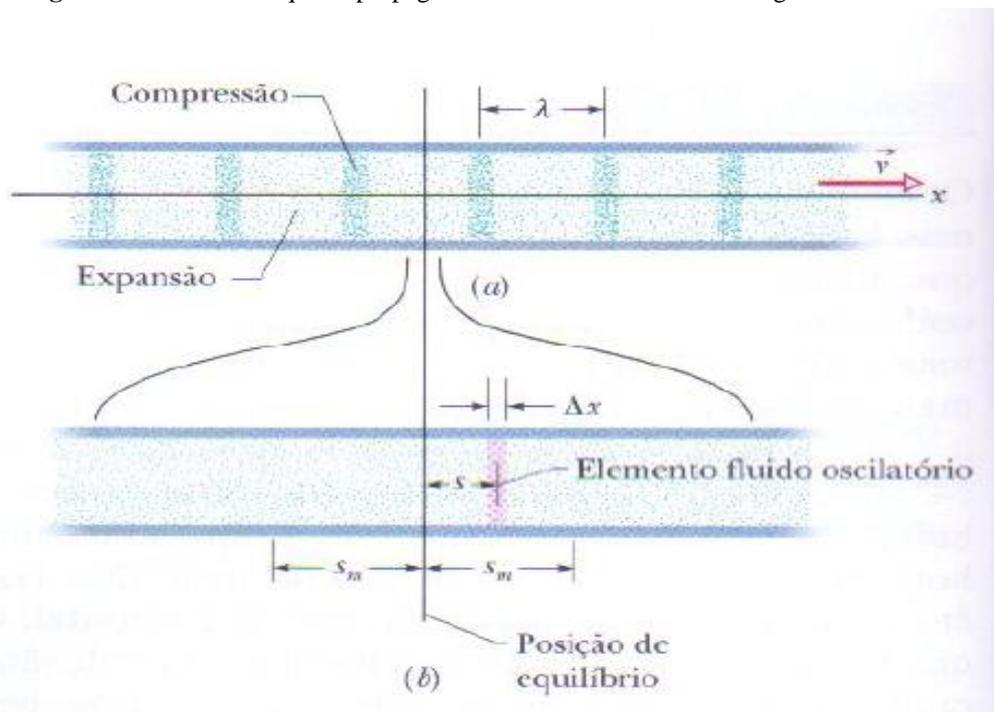
$$S(x, t) = S_m \cos(kx - \omega t) \quad (24)$$

Alguns parâmetros da função $S(x, t)$ merecem descrição apropriada:

- S_m : representa compressão máxima ou rarefação máxima do meio;
- $kx - \omega t$: esse termo é denominado por fase;
- k : definido como número de onda;
- x : posição no eixo x ;
- ω : frequência angular;
- t : tempo.

As variáveis λ , f e T seguem o mesmo conceito físico que os dados para ondas transversais. O comprimento de onda λ , por exemplo, é entendido como a distância entre duas compressões ou duas rarefações sucessivas, figura (8):

Figura 8: Onda sonora que se propaga com velocidade v em tubo longo e cheio de ar.



Fonte: Halliday (2009).

Assim como foi descrito a posição para pulsos sonoros em um meio na eq. (24), pode-se descrever as variações de pressão do meio enquanto o som se propaga:

$$\Delta p(x, t) = \Delta p_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (25)$$

Onde os termos são descritos como:

- $\Delta p(x, t)$: variação da pressão;
- Δp_m : amplitude máxima da variação da pressão;

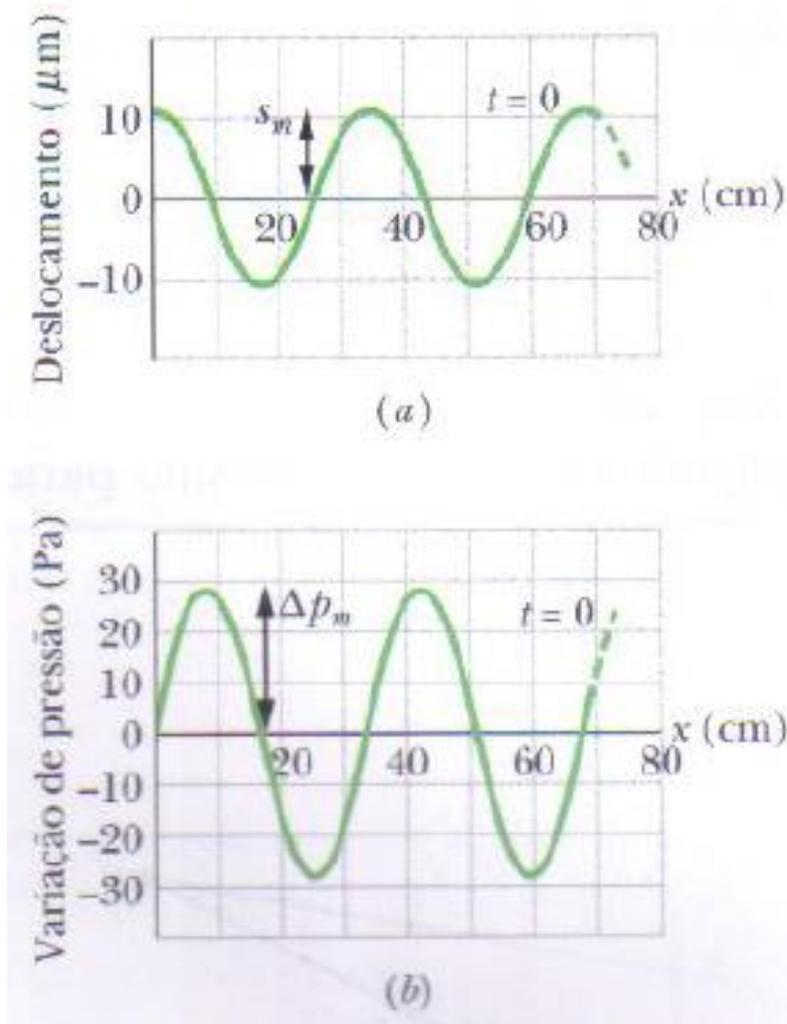
- As demais variáveis seguem os mesmos conceitos que descrito para as eqs. (9) e (10).

A variação máxima de pressão Δp_m , relaciona-se a compressão máxima ou a rarefação máxima de um pulso S_m , através das grandezas v , ρ e ω , por:

$$\Delta p_m = (v\rho\omega)S_m \quad (26)$$

Uma outra forma interessante é observar que a variação da pressão $\Delta p(x, t)$ está defasada de $\frac{\pi}{2}$ com relação ao $S(x, t)$, como mostra a figura (9).

Figura 9: Defasagem de 90° entre a variação da pressão e o deslocamento.

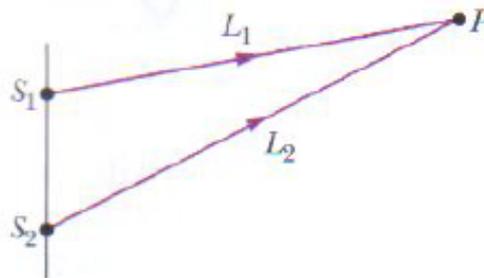


Fonte: Halliday (2009).

3.2.3 Interferência entre ondas sonoras

Pode-se compreender a física por trás do fenômeno de interferência levando-se em questão a modelagem matemática propostas em textos como Trippler (2012) e Halliday (2009). Considera-se duas fontes pontuais S_1 e S_2 separadas por uma distância d e um ponto P muito distante de S_1 e S_2 , tal que a distância das fontes ao ponto seja consideravelmente maior que a distância entre as fontes, essa consideração garante que as ondas produzidas em S_1 e S_2 , cheguem aproximadamente paralelas e planas.

Figura 10: Modelo esquemático das ondas e do ponto de detecção P .



Fonte: Halliday (2009).

Designando-se por L_1 e L_2 , respectivamente a distância entre a fonte S_1 e o ponto P , e a fonte S_2 e o ponto P . Para que seja observada uma interferência completamente construtiva no ponto P , faz-se necessário que $\Delta L = |L_2 - L_1|$ seja igual a um múltiplo inteiro de um comprimento de onda. Para que seja observada uma interferência completamente destrutiva no ponto P , faz-se necessário que $\Delta L = |L_2 - L_1|$ seja igual ao múltiplo inteiro de um comprimento de onda mais meio comprimento:

- Interferência completamente construtiva: $\Delta L = n \lambda$, com $n = 0, 1, 2, \dots$;
- Interferência completamente destrutiva: $\Delta L = (n + \frac{1}{2}) \lambda$, com $n = 0, 1, 2, \dots$;

3.2.4 Intensidade e nível sonoro

Pode-se descrever matematicamente a intensidade de uma onda sonora pela eq. (27).

$$I = P/A \quad (27)$$

P e A , na eq. (27), são respectivamente a potência e a área que envolve a fonte sonora.

Considerando-se uma fonte pontual e isotrópica, a intensidade será escrita como:

$$I = P_s / 4\pi r^2 \quad (28)$$

O termo P_s descreve a potência da fonte e $4\pi r^2$ apresentando uma área esférica ao redor da fonte.

3.2.5 Escala de *decibéis*

Quando em 1923, Fletcher (1884 - 1981), propõe o conceito de *Unidade de Sensação Auditiva*, não sabia ele que alguns anos mais tarde o decibéis tomaria seu lugar. A escala de decibéis se baseia na audição humana, sendo o nível sonoro β definido como:

$$\beta = (10dB) \log \frac{I}{I_0} \quad (29)$$

Com dB correspondendo a abreviação de decibel.

O termo I_0 é a intensidade de referência, cujo valor foi escolhido porque está próximo do limite inferior da audição humana. O nível sonoro β é a maneira mais conveniente para se representar a intensidade sonora relativa com respeito a audição humana. (HALIDAY, 2009).

3.2.6 Fontes de som musical

Há diferentes instrumentos que são capazes de produzir sons musicais, tais como violoncelo, oboé, tambor e marimba. Esses sons se originam em corpos diferentes, sendo que o violoncelo produz seu som através das oscilações de cordas, o oboé produz através de uma coluna de ar em um tubo, o tambor produz a partir de uma membrana vibrante e a marimba por blocos de madeira.

Foca-se aqui apenas em instrumentos como oboé, que são em verdades colunas de ar dentro de um tudo, entretanto tais tubos podem ter as duas extremidades abertas ou apenas uma das extremidades abertas. Considerando-se o comprimento L do tubo, pode-se escrever as frequências ou harmônicos produzidos por esse tubo em função de L , tem-se então:

- Tubo de duas extremidades: $f = \frac{nv}{2L}$, com $n = 1,2,3, \dots$;

- Tubo de um extremidade: $f = \frac{nv}{4L}$, com $n = 1,3,5, \dots$;

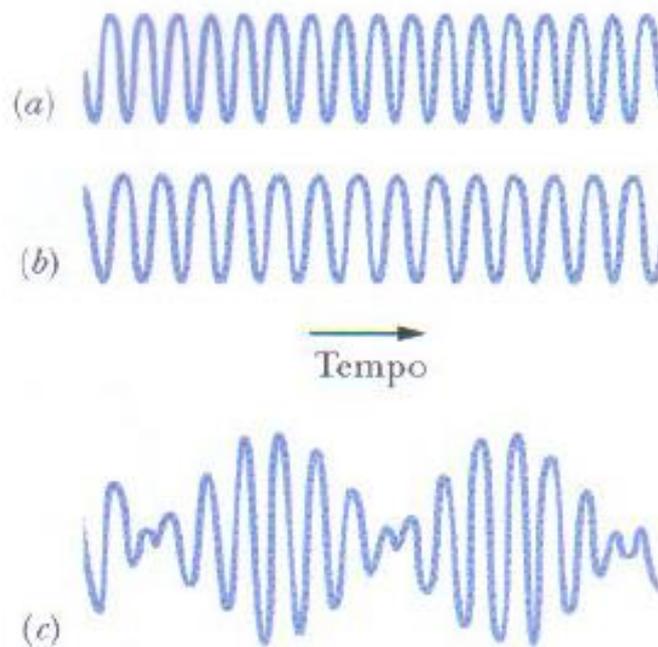
Onde n nas relações acima é denominado de número harmônico.

Um fato interessante que se revela através das relações anteriores, é que a faixa de frequência que um instrumento é capaz de produzir está vinculada ao comprimento do tubo ou do corpo do instrumento.

3.2.7 Batimento

Esse fenômeno é bastante conhecido entre os músicos de orquestra, pois é usado para afinação dos instrumentos. O batimento pode ser explicado como a onda sonora resultando da combinação de duas outras ondas sonoras com frequências muito próximas. A figura (11) representa esse fenômeno.

Figura 11: Em a) e b) são representadas ondas de frequências muito próximas, porém detectadas separadamente. Em c), Onda resultante – batimento.



Fonte: Halliday (2009).

Pode-se escrever matematicamente o fenômeno do batimento através da eq. (30).

$$S(t) = [2S_m \cos \omega' t] \cos(\omega t) \quad (30)$$

Onde:

- $\omega' = \frac{1}{2}(\omega_1 - \omega_2)$;
- $\omega = \frac{1}{2}(\omega_1 + \omega_2)$.

As variáveis ω_1 e ω_2 são as frequências angulares das ondas sonoras individuais que se combinam para acarretarem no fenômeno de batimento. Como as frequências angulares ω_1 e ω_2 são muito próximas, pode-se obter uma frequência de batimento f_{bat} , dada pela eq. (31).

$$f_{bat} = f_1 - f_2 \quad (31)$$

3.2.8 Efeito Doppler

Em 1843, Johann C. Doppler, propõe esse efeito pela primeira vez, mas apenas em 1845, Ballot, o estuda experimentalmente de forma mais precisa. Matematicamente esse efeito relaciona a frequência emitida f com a frequência detectada f' , para os casos em que a fonte ou o detector estejam se movendo, ou se ambos estão se movendo. Expressa-se o efeito Doppler através da eq. (32):

$$f' = f \frac{v \pm v_d}{v \pm v_s} \quad (32)$$

Onde v representa a velocidade do som no ar, v_d a velocidade do detector em relação ao ar e v_s é a velocidade da fonte com relação ao ar. Segundo Halliday (2009), a escolha do sinal positivo ou negativo é dada pela seguinte regra:

“Quando o movimento do detector ou da fonte é no sentido de aproximá-los, o sinal da velocidade deve resultar em um aumento da frequência. Quando o movimento do detector ou da fonte é no sentido de afastá-los, o sinal da velocidade deve resultar em uma diminuição da frequência.” (Halliday, 2009, p. 166).

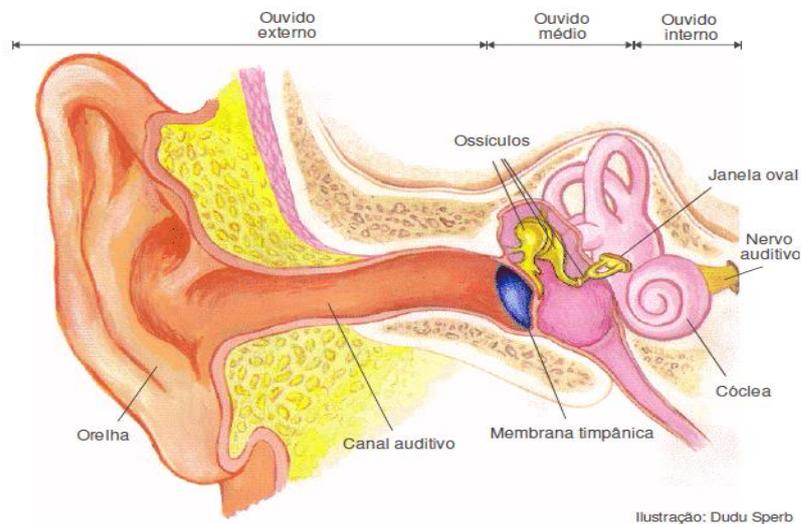
3.3 OUVIDO HUMANO

Dentre os cinco sentidos existente a audição e o tato que se relacionam diretamente com a percepção sonora, entretanto apenas a audição está diretamente relacionada ao ato de escutar. Para uma adequada percepção do som, faz-se necessária uma correlação de fatores, tais como: som audível, meio de propagação, informações sonoras distinguíveis – frequências, amplitudes e timbres – e nervos auditivos funcionando com plenitude.

Os nervos auditivos estão conectados diretamente com a região mais profunda do ouvido – ouvido interno –, e esses fazem parte do encéfalo, entretanto apenas no córtex auditivo – uma das regiões do encéfalo – ocorre o processamento dos pulsos elétricos vinculados ao som detectado pelo ouvido. Em suma, pode-se afirmar que o córtex auditivo faz parte do sistema auditivo, pois sem ele o som não teria sentido algum para nós.

Segundo Rio (2007), o ouvido humano, figura (12), é um órgão fundamental para interpretação do mundo exterior e frisa ainda que a literatura existente o fragmenta em três partes: ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno.

Figura 12: Representação esquemático do ouvido e suas divisões.



Fonte: Rui (2007)

3.3.1 OUVIDO EXTERNO

A orelha ou pavilhão auditivo é a porção mais exteriorizada do ouvido e tem como função primordial o afunilamento dos sons oriundos do meio ambiente exterior. Sua

constituição é basicamente de cartilagem coberta por pele e as formas constitutivas como as elevações, sulcos e curvas são indispensáveis no processo de captação e concentração das ondas sonoras e posterior orientação ao canal auditivo, figura (13).

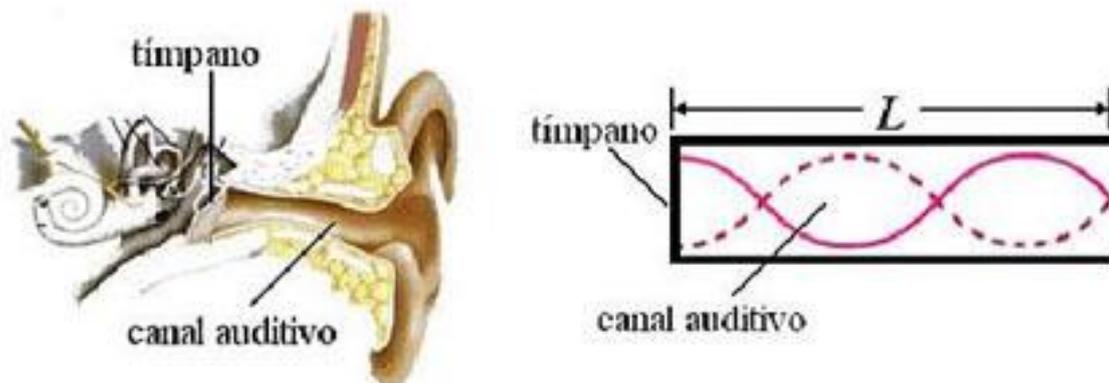
Figura 13: Ouvido externo.



Fonte: Rui (2007).

O ducto que integra o pavilhão auditivo ao tímpano, esse já no ouvido médio, é denominado por canal auditivo, há pelos e ceras no interior desse canal que possuem como funcionalidade principal a proteção contra agentes externos. Esse canal é responsável para orientação da ondas sonoras e posterior convergência no ouvido médio. Há autores como Bertulani (1999), que modela o canal auditivo como um tubo de uma extremidade, figura (14), e com isso propõe teorias de como o ser humano caracteriza os sons detectados pelos ouvidos.

Figura 14: Modelo proposto por Bertulani.



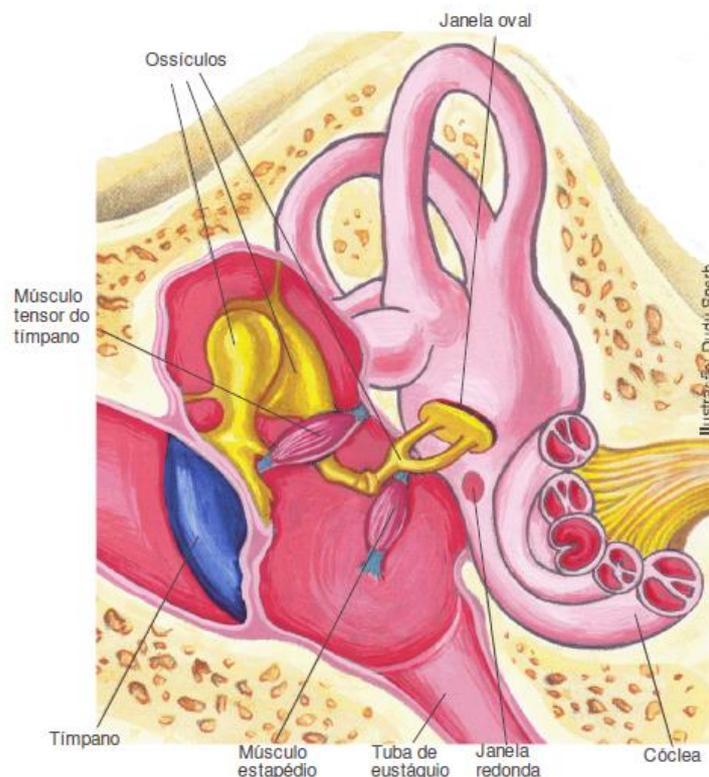
Fonte: Bertulani (1999).

3.3.2 OUVIDO MÉDIO

A região que se prolonga desde do tímpano até final do estribo é designada por ouvido médio. A membrana timpânica, ossículos como martelo, bigorna e estribo, o tudo ou trompa de Eustáquio e o músculo tensor do tímpano e músculo estapêdio formam o aparato necessário para a captação sonora em um nível mais elementar.

O som conduzido via canal auditivo emerge no tímpano, fazendo-o oscilar com a mesma frequência e amplitude das ondas sonoras que o acertou. Se as ondas sonoras possuírem frequências altas, a membrana timpânica oscila mais rapidamente do que se fossem baixas; se as ondas sonoras possuírem maior amplitude, a membrana timpânica oscila com deslocamentos mais amplos do que se fossem menores. As ondas sonoras produzem regiões de compressão e rarefação no meio, esse processo é transmitido para o tímpano em um movimento de vai-e-vem contínuo, onde por último, via martelo, bigorna e estribo (figuras (16) e (17)) é conduzido a janela oval, essa já no início do ouvido interno, figura (15).

Figura 15: Ouvido interno.



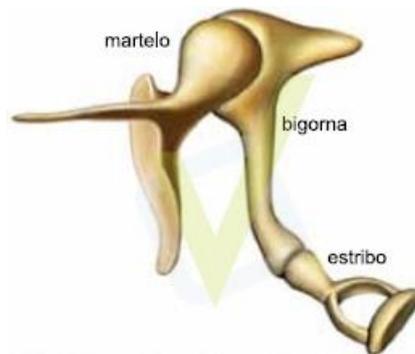
Fonte: Rui (2007).

Ainda que as ondas sonoras que atinjam a membrana timpânica possuam amplitudes altas, ela só é submetida a micro amplitudes. Essas amplitudes não são capazes de produzir uma estimulação adequada no órgão de Corti, que segundo Stevens (1969), é o órgão mais relevante no processo auditivo como um todo. Para que as oscilações ultrapassem o ouvido médio e acertem o ouvido interno de maneira adequada e assim produzam uma estimulação efetiva no órgão de Corti, as ondas sonoras devem ser amplificadas ainda no ouvido médio pela engrenagem com formato de pistão, essa constituído pelos ossículos: martelo, bigorna e estribo.

Uma questão interessante que Rui (2007), levanta é o porquê de nossos ouvidos não serem projetados de forma que as ondas sonoras não exerçam pressão diretamente no ouvido interno ou precisamente na janela oval?

Stevens mencionado por Rui (2007), salienta que o interior do ouvido interno está completamente preenchido por endolinfa e a perilinfa, esses são líquidos, não por ar. Faz-se indispensável uma pressão maior para criar oscilações em um fluido líquido do que em fluido gasoso como o ar e os atores responsáveis por essa amplificação da pressão, são: martelo, bigorna e estribo, figura (16) e (17).

Figura 16: Encaixe entre martelo, bigorna e estribo.



Fonte: Labpilot.

Figura 17: Modelo tridimensional.



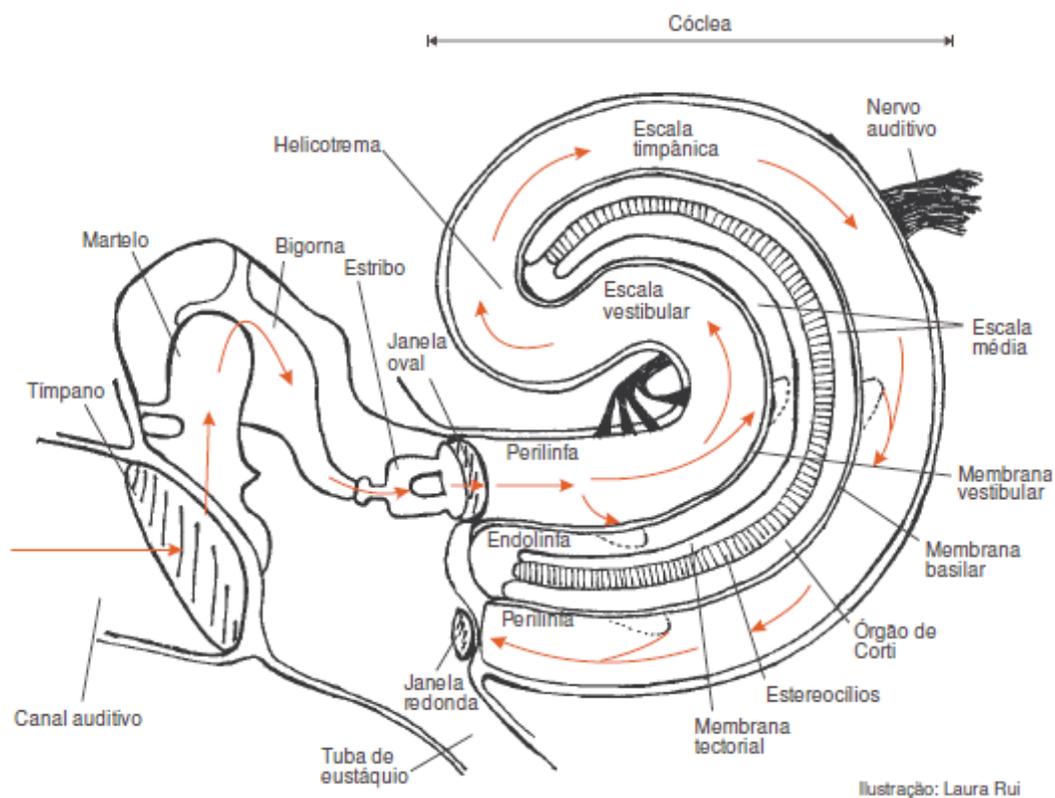
Fonte: Labpilot

Esses ossículos são “controlados” pelo músculo estapédio e músculo tensor do tímpano, figura(15), ambos responsáveis diretamente para conter altas variações de amplitudes e evitar algum processo danoso ao ouvido médio.

3.3.3 OUVIDO INTERNO

Corresponde à região que vai desde da janela oval até a fronteira entre a cóclea e os nervos auditivos, figura(18), entretanto, Roederer (1998), expõe que uma outra forma de ver o ouvido interno era considerá-lo apenas como cóclea e labirinto. A cóclea é prioritariamente responsável pelo câmbio entre ondas sonoras e sinais neurais, enquanto que o labirinto é responsável apenas pela conservação, manutenção e preservação do equilíbrio mecânico do corpo.

Figura 18: Ouvido interno.



Fonte: Rui (2007).

A imagem anterior, figura (18), representa o caminho percorrido pelas ondas sonoras desde que atingem o tímpano até sua posterior propagação na cóclea.

Figura 19: Imagem da cóclea

Fonte: Foto cortesia de Helge Rask-Andersen, MD, Uppsala University Hospital, Uppsala, Suécia

A cóclea, figura (19), é uma cavidade com estrutura óssea, com dimensões que giram em torno 3,5mm de altura e 7,5mm de diâmetro de base, dividida por três compartimentos ósseos longitudinais designados por escala vestibular, escala média e escala timpânica, essas completamente preenchidas por fluidos líquidos.

Um fato que merece ênfase com respeito as escalas vestibular e timpânica, figura (20), é o comportamento semelhante a um único sistema hidrodinâmico, visto que ambas estão unidas por um ducto denominado helicotrema bem no ápice da cóclea, como se observa na figura (19) extraídas de Rui (2007). “A transmissão integral da pressão da perilinfa, que é um líquido incompressível, através dessas escalas é explicada pelo Princípio de Pascal.” (RUI, 2007).

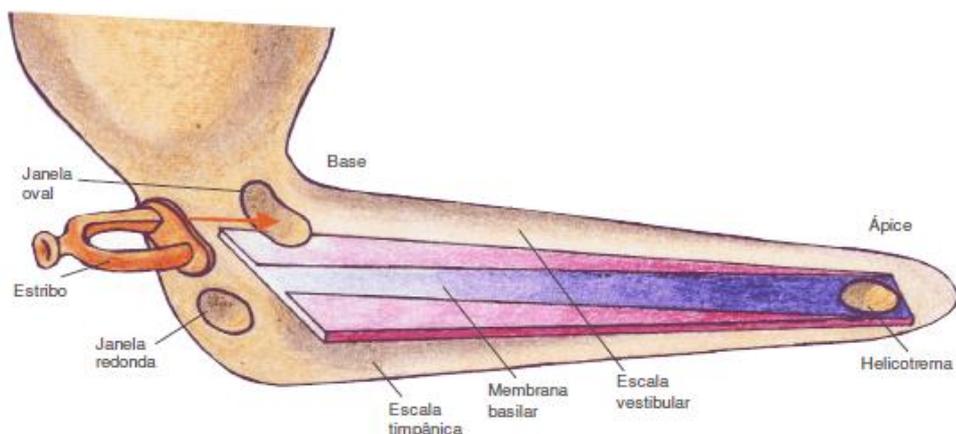
Figura 20: Escalas vestibular e timpânica, helicotrema.

Ilustração: Laura Rui

Fonte: Rui (2007).

A repartição central também chamada de membrana basilar como se pode observar na parte inferior da figura (20), onde se localiza o órgão espiral (ou órgão de Corti), centrada no decorrer do conduto coclear é constituída por células ciliadas e de sustentação, membrana tectória. Lopes (2004), descreve a membrana tectória como uma arcada com consistência gelatinosa posicionada na região superior das células ciliadas e posteriormente firmada à lâmina espiral óssea, que quando posta em oscilação entra em contato direto com as células ciliadas externas. Essas são responsáveis pela diferenciação entre os vários tipos de sonoridades.

A composição celular ciliada da cóclea, como bem descreve Braga (2003), orbita ao redor de aproximadamente 15.000 células que oscilam conforme o som, e segundo suas propriedades de frequência, desde de altas a baixas. É nessas células onde a energia mecânica sonora é transformada em pulsos elétrico que posteriormente serão conduzidos a região do córtex auditivo.

Os pulsos elétricos uma vez transmitidos ao córtex auditivo darão a possibilidade do processamento das informações oriundas das ondas sonoras e posterior compreensão ou representação mental do som. É no córtex auditivo que o som terá sentido para os humanos – na compreensão de outro idioma, na identificação de um timbre de voz, de um instrumento musical ou na diferenciação de um tipo pássaro conforme seu conto. Ainda que no estado de inconsciência associada ao sono, o córtex auditivo segue trabalhando. Um bom exemplo disso é o processamento das informações sonoras advindas de um aparelho de televisão ligado enquanto você dorme, nessa situação o processamento é seletivo, ou seja, o córtex auditivo segue captando as informações, mas não as considera.

4 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

4.1 A SURDEZ SOB A LUZ DA NEUROCIÊNCIA

Um dos trabalhos mais importantes sobre a temática está no clássico *Fundamentos da defectologia* de Vygotsky (1997c), mais precisamente no capítulo *Sobre el problema de la educación y del desarrollo lingüísticos del niño sordomudo*. Vygotsky (1997c) citado por Brettas (2015, p.2), “escreve que a cultura molda o psicológico, assim determinando a maneira de pensar e de agir de um grupo no qual uma pessoa se encontra inserida”. Nuernberg nos traz a seguinte contribuição:

Em relação à surdez, as teses de Vygotsky ganham ainda mais atenção na atualidade em razão da centralidade que atribui à mediação semiótica no desenvolvimento do

psiquismo. No debate sobre a preferência educacional entre os dois principais meios de socialização e comunicação dos surdos – a oralização e a língua de sinais, Vygotsky era inicialmente favorável à primeira, considerando a língua de sinais limitada para o estabelecimento de trocas sociais com os ouvintes e para a elaboração de conceitos (Vygotsky, 1997b). Contudo, seus últimos textos sobre o desenvolvimento e a educação de surdos já expressam uma posição distinta, na qual afirma que “la poliglosia (dominio de diferentes formas de lenguaje) constituye el camino ineludible y más fructífero para el desarrollo lingüístico y la educación del niño sordomudo” (Vygotsky, 1997c, p. 353). Destarte, passa a assumir a relevância de variados sistemas comunicacionais na educação de surdos, considerando a linguagem falada e a de sinais como aliadas no processo de apropriação cultural dos surdos. (NUERNBERG, 2008, p.4).

Ainda nesse capítulo Vygotsky (1997c) traz conceitos que na contemporaneidade podem ser elucidados e aprofundados pela via da neurociência cognitiva, principalmente com as técnicas atuais de imagéria cerebral: a) o surdo de nascença não forma sons mentais (ideia é errônea), por outro viés, b) surdos apresentam concentração e memória (relacionadas às formas e gestos) mais desenvolvidas que outros indivíduos ouvintes; c) a surdez contribui de maneira a impulsionar a formação e criação de mecanismos internos de compensação para superar a ausência da audição; d) os quatro sentidos (sendo a visão por excelência o mais significativo) restantes funcionam como mecanismos mediadores utilizados pelo surdo para interagir como mundo; e) a metacognição, conceito trazido por Flavell (1976 *apud* Campanario, 2000) explica claramente como os surdos apresentam a autocompreensão acerca do mundo e sobre si. Tais conceitos apresentados aqui de maneira sucinta serão considerados sobre a fundamentação da neurociência cognitiva, tendo como principal objetivo, o de basilar a argumentação da presente investigação.

A *neuroplasticidade* ou *plasticidade cerebral* será o conceito mais relevante que se trata nesse trabalho. Para Das et al. (2001) e Cardon et al. (2012), a neuroplasticidade é a capacidade que o sistema nervoso apresenta de modificar, regenerar, inovar e reestruturar sua estrutura e função de acordo com demandas variáveis ou persistentes de forma adaptativa, podendo ser em relação à novas experiências (resultando em aprendizagem e memória), na recuperação de lesões ou até na obtenção de novas capacidade cognitivas, como a plasticidade *cross-modal*.

Lent (2010) frisa que há dois tipos de neuroplasticidade: a) plasticidade benéfica e b) plasticidade maléfica. O primeiro tipo pode ser compreendido como a capacidade de adaptabilidade a uma função ausente, como por exemplo, um ser humano que perdeu a audição

(ou nasceu sem) desenvolve outros sentidos de maneira mais aguçada para compreensão acerca do mundo, que é o caso do tato e do sistema visual mais apurado, o que garante a compreensão e velocidade na leitura dos gestos associados a língua brasileira de sinais (LIBRAS). O segundo tipo refere-se a características danosas ao indivíduo, como o caso de recém-nascidos que são expostos a situações de stress por longo prazo que desenvolvem desvios comportamentais e psicossociais na vida pós-natal ou uma atividade neuroplástica após a lesão no sistema nervoso pode acarretar em situações patológicas ou até dor (BERNHARDI et al.,2017).

A plasticidade benéfica nos guia ao conceito de plasticidade intermodal, ou *cross-modal*. Marques et al. (2012, p. 96) clareia esse conceito quando diz que “indivíduos com surdez profunda dependem fortemente da visão para interagir com o seu meio ambiente. Uma melhoria do desempenho visual como consequência da privação auditiva é assumida na literatura, como resultado de alterações intermodais que ocorrem nos últimos estágios do processamento visual.”. Ou seja, o cérebro do deficiente auditivo utiliza a neuroplasticidade de forma compensatória para o sentido da visão, de forma a desenvolver estratégias cognitivas que o tornam mais apto para o seu cotidiano. Nesse mesmo artigo Marques escreve:

A literatura sobre a atenção visual em indivíduos surdos apresenta, inicialmente, uma perspectiva de déficit perceptivo, baseada no pressuposto de que a surdez poderia ter um impacto direto sobre o pobre desempenho dos outros sentidos (Myklebust, 1964). E que quaisquer alterações de linguagem subsequentes da surdez profunda, restringiria as crianças surdas na interação com o mundo, confluindo num atraso do desenvolvimento cognitivo em tarefas perceptivas e cognitivas (Furth, 1966). Com o avançar da investigação, a perspectiva da compensação sensorial em detrimento do déficit perceptivo sustenta um aumento das capacidades visuais por ausência do sistema auditivo (Gigson, 1969).

A surdez precoce apresenta uma oportunidade única para analisar as consequências da perda auditiva no que respeita a potenciação da percepção visual. É conhecido que uma vida de privação sensorial auditiva pode induzir a reorganizações neurais dentro dos córtices sensoriais (Finney e Dobkins, 2001). Essa plasticidade influencia os restantes sentidos, como uma sensibilidade visual superior (Bavelier, Dye e Hauser, 2006). Existe a ideia de que os indivíduos com deficiência auditiva têm vantagem visual sobre os ouvintes (Proksch e Bavelier, 2002), afirmando que as pessoas surdas possuem uma intensa atividade da visão periférica, fruto da sua plasticidade cerebral (Neville & Lawson, 1987). (MARQUES et al. 2012, p.96-97).

É interessante ressaltar que cada deficiente auditivo apresenta seu próprio padrão de plasticidade intermodal, já que cada indivíduo cria suas próprias estratégias para se conectar com o mundo na falta da audição. Com isso queremos evidenciar que não somente o sentido

da visão será recrutado para atender essa plasticidade *cross-modal*, mas que há deficientes auditivos que recrutam outros sentidos como o sistema tátil.

Em deficientes auditivos congênitos, Dessen e Brito et al. (1997, p. 113-114) ao citar Marchesi (1996), escreve que “O grau de intensidade da perda auditiva é, possivelmente, a dimensão que tem maior influência no desenvolvimento das crianças surdas, não somente nas habilidades linguísticas, mas também nas cognitivas, sociais e educacionais”. Ou seja, surdos de nascença apresentam dificuldades relevantes na formação mental do som. Dessen e Brito et al (1997), pondera que na ausência do sentido da audição o sistema nervoso modifica a organização neurológica do surdo e como consequência disso bloqueia o fluxo natural de mensagens, prejudicando a comunicação num todo. Kappel, Moreno e Buss (2011), relatam que em indivíduos surdos que escutavam *a priori*, a capacidade auditiva é melhorada com a utilização de implantes e que a neuroplasticidade auditiva ganha relevância significativa.

Os discentes surdos no âmbito da aprendizagem, utilização, descrição e manipulação de equações matemáticas ou físicas apresentam uma séria dificuldade na associação entre os símbolos matemáticos e as noções das operações. Isso de fato é tão sério que por vezes o discente surdo pode não compreender um simples jogo de “par ou ímpar”. No artigo “Das palavras aos sinais: o dito e o interpretado nas aulas de Matemática para alunos surdos inclusos”, Borges e Nogueira (2016, p. 488) trazem as contribuições de Almeida (2009), escrevendo que existe a necessidade de “sinalizar para uma dificuldade maior na passagem do conhecimento aritmético para o algébrico”, ainda nessa mesma linha de pensamento Borgues e Nogueira (2016), trazem à tona a desvinculação entre o algébrico e geométrico, justificando que o atraso relacionado a compreensão dos conceitos matemáticos se deve ao fato dos discentes surdos não conseguirem se apropriar de conceitos abstratos, pois não conseguem criar uma imagem concreta (geométrica) do que foi explanado. A formação do professor influencia muito nesse quesito, principalmente se o docente adotar uma postura tradicional em sala com relação aos temas dessa natureza.

Strobel (2008) citado por Borges e Nogueira (2016, p.488), complementa que “diante do tradicionalismo experimentado nas aulas observadas quando do ensino de temas algébricos, podemos afirmar que houve uma negligência da “experiência visual”, da qual dependem os alunos surdos em situação de aprendizagem.”

A audição, em linha oposta a visão, como nos traz Fuentes (2014), já influencia a percepção da criança acerca do mundo, nas primeiras 27 semanas. O feto já percebe sons, tonalidades e entonações da língua materna. Nos quatro primeiros dias de vida extrauterina o recém-nascido já reconhece claramente a voz materna. Isso guia a compreender que a audição,

não é uma habilidade sensorial única, isolada. Não se refere a uma mera detecção do sinal acústico, uma vez que muitos mecanismos e processos neurofisiológicos e cognitivos são necessários para uma perfeita decodificação, percepção, reconhecimento e interpretação do sinal auditivo. O Sistema Nervoso Auditivo Central (SNAC) é, portanto, um sistema altamente complexo e redundante, constituído por múltiplos componentes e níveis de organização interativa sequencial e paralela. Tem papel relevante e essencial para o correto reconhecimento e discriminação de eventos auditivos, desde os eventos mais simples, como um estímulo não verbal, até mensagens complexas, como é o caso da fala e da linguagem. (SANTOS et al. 2011, p. 460-461)

Desse ponto de vista o sentido da audição está relacionado com a previsão do evento antes mesmo que esteja no campo de visão central ou periférico. Garantindo que o reconhecimento do mundo exterior se faça por intermédios dos sons e de aspectos relacionados ao som: tonalidade, amplitude, modulação, entonação e outros.

4.2 A NEUROBIOLOGIA DA LINGUAGEM

Ao pensar na palavra linguagem muitas vezes nos remetemos a uma estruturação lógica do discurso, que pode ser compreendida e executada. Linguagem lembra uma execução de palavras de forma consciente. Mas o paradigma da cognição consciente vem sendo reformulado nas neurociências abrindo o campo para uma cognição inconsciente (BECHARA et al.,1997). Essa abertura traz novos argumentos sobre uma discussão antiga no estudo do comportamento animal: os animais têm ou não linguagem?

Humanos e animais podem comunicar-se de forma intraespecífica por linguagem corporal. Esta linguagem muitas vezes se expressa por padrões fixos de ação, que popularmente conhecemos por instinto: um estímulo específico ativa uma circuitaria neural que expressa um determinado comportamento adaptativo importante para a sobrevivência do indivíduo (RANDALL et al., 2000). Assim, quando um estímulo evoca um comportamento de medo no ser humano percebemos expressões em comum na espécie como sobrancelhas levantadas, joelhos levemente flexionados (para lutar ou fugir) e palmas das mãos abertas protegendo o tórax ou abdômen (DARWIN, 2000) Durante uma palestra o orador pode, propositalmente, gesticular com as mãos a fim de chamar a atenção do público ou evidenciar seu discurso, mas a forma como gesticula enquanto fala pode parecer não controlada por sua consciência, nesse caso, estamos falando de uma linguagem corporal semiconsciente. Em comportamentos de atração

por parceiros, na observação de algo de desvie a moral ou de algo que nos deixe curiosos, muitas vezes nossos olhos se movem para onde não queremos; esse comportamento pode ser percebido pelo emissor que por sua vez movimento o olhar e/ou o corpo de forma não pensada, estabelecendo uma comunicação, nesse caso estamos falando de uma linguagem não-consciente. Para esses formatos de linguagem corporal o cérebro reconhece o código referente aos gestos e expressões no sulco temporal superior, a emoção que está sendo emitida por eles, na amígdala, e análise do comportamento como um todo é feita pelo córtex orbitofrontal (CARTER et al.,2009).

Os outros animais exibem também linguagem corporal para evitar conflitos, conseguir parceiros e acasalar, adquirir um posicionamento hierárquico social ou até auxiliar indivíduos da mesma espécie, por comportamento pró-social (ALCOCK, 2011). Para além da comunicação gestual, a linguagem é resultado do processamento entre o córtex sensorial, que apreende o estímulo visual e/ou auditivo, e motor, que produz o discurso. Assim, sons, símbolos e gestos são usados para comunicação. Estima-se que existe uma universalidade no processamento cerebral da linguagem, mas um processamento que dá origem a sistemas criativos. A cultura humana já produziu mais 10.000 idiomas e dialetos (BEAR, 2017).

É extremamente difícil saber uma data precisa do surgimento da linguagem no homem. Sabemos que existe uma forte influência genética do gene FOXP2, cujo silenciamento reflete em uma gama de deficiências de linguagem, e que, provavelmente, as interações entre mudanças biológicas sutis e pressões ambientais resultaram em uma especialização dos hemisférios (VARGHA-KHADEM et al.,2005). Especulasse que uma mutação genética possibilitou a movimentação do polegar opositor no *Homo sapiens* e assim a pressão seletiva para o uso de ferramentas contribui para o desenvolvimento de áreas cerebrais que hoje utilizamos para a linguagem (MORRISS-KAY, 2010). A mão direita controlada pelo hemisfério esquerdo foi selecionada como dominante nesse gênero, o que resultou também em uma dominância neste hemisfério que compete à articulação e compreensão da linguagem além do reconhecimento da palavra. O hemisfério direito processa aspectos mais discretos da linguagem como reconhecimento de tom, ritmo, ênfase, entonação, do gesto e do corpo como um todo; ele é melhor para copiar figuras em perspectiva e montar quebra-cabeças. (LENT, 2010; BEAR, 2017).

Para ouvintes, o processo de formação mental do som começa segundo Kappel, Moreno e Buss (2011), ainda no órgão sensorial da audição, vias auditivas e estruturas cerebrais que captam, processam e interpretam as informações sonoras advindas do meio, o córtex auditivo

é o principal responsável pela análise e interpretação do som, esta é uma região do cérebro localizada na parte lateral do encéfalo, como se pode ver em destaque na figura (21).

Figura 21: Ativação do córtex auditivo.



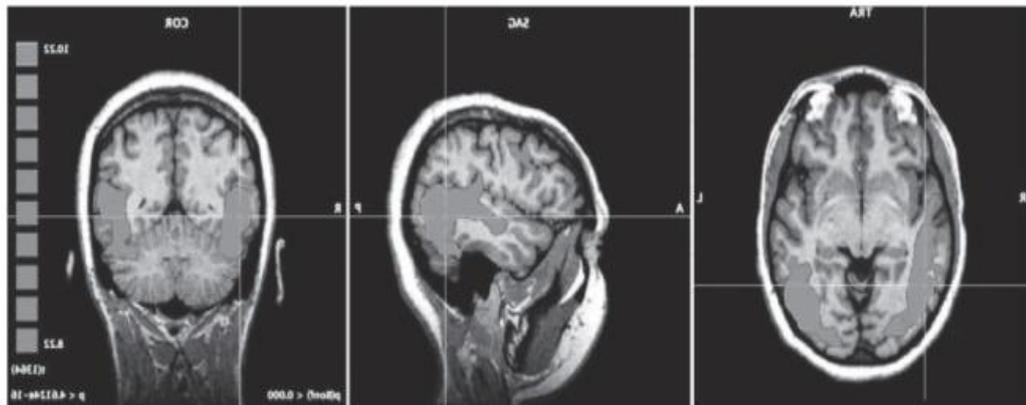
Fonte: Pereira, Reis e Magalhães (2003).

Já a compreensão da linguagem em indivíduos com a audição considerada normal acontece no lobo temporal, em uma área específica chamada área de Wernick. Uma das coisas que difere o cérebro humano dos outros animais é que ele possui áreas específicas para a linguagem. O lobo temporal tem uma importância fundamental para a linguagem porque ele processa sons e palavras, assim como também é o local do processamento da memória, assim ele contribui para o ajuste entre palavras e conceitos. Na área de Wernick, em especial, as palavras que foram vistas (pelo lobo occipital) e ouvidas são entendidas e selecionadas para articulação. Outra área que fica ao lado da área de Wernick, se estende para o lobo parietal, é a área de Geschwind. Nesta, as informações sobre som, visão e sensações corporais se unem. O circuito neural que processa a compreensão até a articulação da fala começa em Wernick, passa por Geschwind e termina na área de Broca, no lobo frontal. Esse circuito é feito por um feixe de fibras nervosas chamado de fascículo arqueado, que é mais espesso nos primatas. A área de Broca é a área de expressão da linguagem, incluindo fala. É a sua presença, em cerca de 80% das pessoas, no hemisfério esquerdo, que confere a dominância nesse hemisfério para linguagem. Na linguagem falada esta área transforma palavra em som. O circuito termina

quando a informação da área de Broca é enviada para o córtex motor, movendo os músculos da boca, língua e laringe necessários para articulação da linguagem. (CARTER et al., 2009).

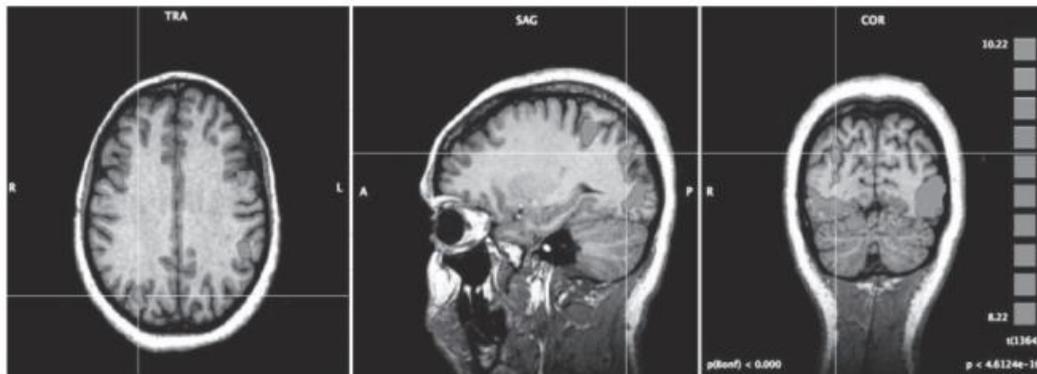
Valadão et al. (2013), em um estudo intitulado “Língua de sinais: visualizando a recepção da linguagem por meio da ressonância magnética funcional” demonstram que surdos ao se comunicarem e processarem informações advindas da língua de sinais ativam áreas relacionadas com a linguagem clássica. Valadão et al. (2013) informa ainda que os surdos assistiram um filme onde é narrada uma fábula em língua de sinais. As figuras (22, 23, 24, 25, 26) mostram as principais regiões ativadas com a realização da tarefa:

Figura 22: Imagem mostrando ativação em BA 18, BA 19, BA 39 e BA 22.



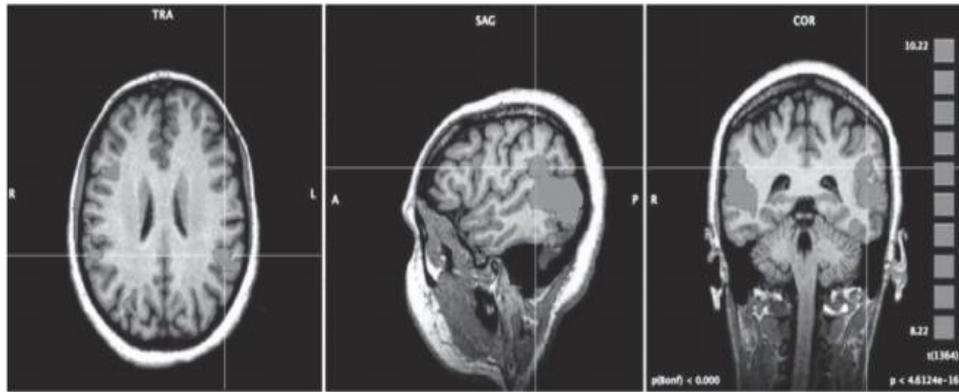
Fonte: Valadão et al. (2013)

Figura 23: Imagem mostrando ativação em BA 7.



Fonte: Valadão et al. (2013)

Figura 24: Imagem mostrando ativação em BA 40.



Fonte: Valadão et al. (2013)

Figura 25: Imagem mostrando ativação em BA 21.



Fonte: Valadão et al. (2013)

Figura 26: Imagem mostrando ativação em BA 37.



Fonte: Valadão et al. (2013)

As áreas ativadas: BA 39, 40, 7, 21, 22, 37 tem as funções associativas entre visão e mão, visão e memória, visão e tato e relações espaciais, as BA 39 e 40 (área de Wernicke) a clássica região envolvida com a compreensão da linguagem, as BA 18 e 19 desempenham funções ligadas ao processamento dos movimentos, controle, fixação visual e memória visual.

É de importância fundamental que o deficiente auditivo execute procedimentos visando o treino de sua percepção visual, tátil e integração ao meio exterior no qual ele é sujeito interagente e participativo. Neste aspecto, as pesquisas com o auxílio de ressonância magnética funcional tornam-se de extrema relevância, principalmente para investigar cérebro em respostas a testes cognitivos (JUNIOR E BARKER, 2006). A experiência visual para o surdo é vital conforme se mostra no trabalho de Valadão et al. (2013), mas Marques et al. (2012) já sinalizava nesse aspecto ao trazer a literatura existente com essa inclinação. A associação íntima entre o surdo e o sentido da visão e tátil, nos conduz a pensar na perspectiva neuroplástica, ou seja, o cérebro se adapta recrutando estes sistemas (tato e visão, principalmente visão) para criar possibilidade de interpretação acerca do mundo relacionado ao sistema auditivo.

A formação mental do som encontra amparo na neuroplasticidade auditiva, esta recruta a visão como principal sentido. Em estudos realizados com surdos sobre os sonhos, alguns relatam sonhos sobre suas vidas domésticas e coisas que viveram no decorrer do dia, mas sempre na perceptiva da língua de sinais, há alguns poucos casos que relatos de surdos que conseguiram falar nos sonhos. Citando as funções cognitivas superiores, há uma relação interessante entre a falta da audição e a performance mais desenvolvida nas funções cognitivas de atenção visual e memória, devido a neuroplasticidade *cross-modal* (BOSWORTH E DOBKINS, 2002; MARQUES *et al*, 2003).

O cérebro do deficiente auditivo desenvolve a plasticidade cerebral (i.e., *cross-modal plasticity*) como uma função de autocontrole, por outro lado traz a vantagem de ser monitorada e controlada por ele mesmo (*biofeedback*) ou por uma interface cérebro-computador (*neurofeedback*), e com isto ter seu funcionamento otimizado no nível neurológico e comportamental (DYE, BARRIL E BAVELIER, 2007; BAVELIER E NEVILLE, 2002; MARQUES *et al*, 2012).

Um exemplo é a possibilidade de dispor da tecnologia de interface cérebro-computador com o objetivo de auto-regulação de seu mecanismo perceptivo descompensado pela ausência do sentido da audição, ou no auxílio de processos de memorização (mnemônicos), como aqueles exigidos pela elaboração e manipulação de equações e fórmulas físico-matemáticas, que envolvem também o cálculo mental e a utilização de algoritmos na aprendizagem da Física.

Considerando o exposto anteriormente, descreve-se na Tabela 1 uma breve síntese que vincula aspectos neurocognitivos levados em consideração aqui com temas de natureza educacional:

Tabela 1. Neurociência cognitiva e temas educacionais

Circunstâncias neurocognitivas	Temas educacionais
<p>A surdez congênita ou adquirida torna impossível o processo de compreensão sonora acerca do mundo.</p>	<p>A dificuldade de construir representações mentais se dá principalmente em situações de aulas práticas, onde o sentido da audição seria indispensável, bem como na apresentação do conceito científico que geralmente ocorre por meio do português escrito, considerando a dificuldade do indivíduo surdo fazer associação entre o som e a linguagem escrita (LP). Como solucionar ou melhorar essa problemática?</p>
<p>A neuroplasticidade do deficiente auditivo, principalmente a <i>cross-modal</i>, recruta os outros sentidos, principalmente a visão.</p>	<p>Poderíamos amenizar essa situação de aprendizagem escolar explorando estratégias diferentes de ensino, privilegiando o uso de vários estimuladores de natureza visual, tátil, olfativo, etc.</p>
<p>Alguns estudos trazem e demonstram que indivíduos com surdez possuem mecanismos de atenção visual e memória mais amplos e desenvolvidos em relação a indivíduos ouvintes.</p>	<p>Tendo em vista a neuroplasticidade auditiva, como fazer para que este mecanismo compensatório possa trazer benefícios para otimizar situações de aprendizagem? Isso seria interpretado num melhor desempenho do ponto de vista do domínio acerca dos conceitos científicos e situações-problemas e questões-problemas para a área de ensino de Física, especialmente em áreas mais abstratas (como a Física moderna, Mecânica analítica, Mecânica quântica e Relatividade)?</p> <p>Como potencializar a capacidade de atenção visual do surdo ao lidar com o modelamento matemáticos (expressões,</p>

	equações e inequações) empregados em Física?
Próteses cocleares (substituição sensorial) é interessante, entretanto vários deficientes auditivos não apresentam melhora nos casos de surdez profunda. Só sendo recomendadas em casos reversíveis e parciais de surdez.	Qual a melhor forma de criar possibilidade de desenvolvimento para se trabalhar em sala de aula a estimulação e neuroplasticidade das regiões auditivas atrofiadas pelo desuso?

Fonte: criada pelo autor.

4.3 O ENSINO DE FÍSICA ENQUANTO LINGUAGEM

Em 1975 aconteceu no Centro Royaumont para uma Ciência do Homem (*Centre Royaumont pour une science de l'homme*) um clássico debate (em forma de simpósio) entre Noam Chomsky, Jean Piaget e outros grandes nomes da ciência. Nesse simpósio foram debatidas questões relacionadas a gênese, aquisição, cognição e desenvolvimento da linguagem humana (EICHLER E FAGUNDES, 2005). O grande número de questões e soluções (conclusões) debatidas nesse evento apoiam e traçam uma órbita em volta da questão-problema que defronta atualmente no âmbito do ensino de física no Brasil. Tal problema se enquadra numa única característica bem particular. A de que a Física não está vinculada a ideia de linguagem, mesmo tendo em vista aparatos cognitivos, epistemológicos, heurísticos utilizados para a apropriação de conceitos fundamentais inerentes a essa ciência.

A linguagem a qual se refere este trabalho está vinculada a concepção sobre o aspecto de natureza estrutural e inerente de qualquer linguagem. Com isso se indica componentes com características social e individual; psíquica; psico-fisiológica e física, conforme postulado por Saussure (1916). Liga-se ao fundamento semiótico anteriormente dado a qualquer linguagem ou manifestação de uma linguagem, que garante a procura por características de cunho epistemológico proporcionalmente ligadas às funções cognitivas no indivíduo, entretanto vinculando a dinamização, organização e estruturação da linguagem em termos sócio-cognitivo-cultural (CAMARGO, 2005; BRONCKART, 2009; SANTAELLA, 2005).

Baseando-se nos entrelaçamentos dos trabalhos de Martins (2005), Camargo (2005), Casais e Neto (2014), Casais e Neto (2015) e Rocha (2016), optou-se pela escolha da semiótica de Peirce (2000) que designa a relação **triádica** ou **tríade semiótica**, como: Signo (Referente)

- Objeto; Interpretante (Significado); Representação (Significante). Interpretando à luz de VERGNAUD (1990), como referência teórica da Teoria dos Campos Conceituais, tem-se: Referente – Situação didática (lança sentido ao conceito); Significado – Invariantes Operatórios (teoremas-em-ação); Significante – Representações (múltiplas representações): expressões matemáticas, gráficos, sentenças formais, diagramas, linguagem natural. No que tange esse estudo, a parte que constitui o “Interpretante” ou “Significado” também pode ligar-se ao conjunto distinto de componentes principais que fundamentam os conceitos e teoremas-em-ação, como se pode observar:

Significado ou Interpretante: Associatividade, Simetria, Antissimetria, Comutatividade, Anticomutatividade, Grandezas diretamente proporcionais (Razão direta), Grandezas inversamente proporcionais (Razão inversa), Variabilidade, Invariância, Covariância, Lei de conservação.

Isto será peculiarmente relevante quando for proposto uma abordagem fundamentada no processo de axiomatização da biônica, que será ponderado na fase de acabamento da dissertação, e que integra parte da composição didática deste trabalho.

A produção do conhecimento inerente a Física acontece porque o objeto de aprendizagem de seus atores (pesquisadores, cientistas e professores) perpassa, fundamentalmente pela proposta de construção epistemológica que atende a relação triádica semiótica indicada anteriormente. No que tange a isso, ressalta-se que a composição semiótica do Significado (representante), apenas produzirá aprendizagem efetiva em relação a algum conceito ou teorema-em-ação se de modo harmonioso se tem pelo menos dois sistemas de representação diferentes, porque em tal situação o indivíduo (discente) sinalizaria congruência em transpor um determinado sistema de representação semiótica para outro (COLOMBO, FLORES E MORETTI, 2007; DURVAL, 2009).

Sobre essa luz, guia-se sem mais delongas a deduzir que a Física seja encarada como uma linguagem, tem-se que ponderar o processo de ensino-aprendizagem de maneira similar (natureza é fundamentalmente epistemológica).

Todavia, carece de agregação até o presente instante a relação explícita, explicação e demonstração direta e clara entre o domínio cognitivo ao qual está vinculado pormenorizadamente a aprendizagem de Física e a peculiaridade no interior da complexidade do aparelho perceptivo-neurocognitivo e sócio-cognitivo. Em outras palavras, diz-se que o ensino de física induz uma relação planejada de natureza didática, epistemológica e cognitiva totalmente própria, particular, absolutamente diferenciada de outras disciplinas do amplo leque do conhecimento científico. Partindo do entendimento de algumas noções e alguns conceitos

dados pela neurociência cognitiva para a compreensão da Física como um construto (sistema) de linguagem semiótica, apresenta-se logo a seguir algumas partes dessa relação.

A contribuição trazida por Dehaene et al (2005) acerca da leitura indica que este mecanismo está integrado a um processo que tem bem demarcado o lócus preferencial com neurônios bem característicos para tal funcionalidade. Optou para a compreensão desse processo o modelo designado por “*local combination detectors – LCD*” (Detector de Combinações Locais) também indicado/encontrado em Dehaene et al (2005). No que tange a leitura, o modelo proposto por Dehaene e equipe, provém de um percurso razoavelmente complexo da relação combinatória entre símbolos, signos e ícones que formam qualquer espécie de construto de linguagem, tais como grafia, escrita, representacional e pictórica.

O processamento de aquisição, desenvolvimento e evolução da capacidade (habilidade) do cálculo matemático pode também ser tratado via processos neurocognitivos vinculando-se a isso como Dehaene et al (1999) traz, os processos de leitura e de fala pelo indivíduo. Os mesmos grupos neuronais associados aos processos de leitura e fala são recrutados para aprendizagem conceitual e matemática da Física, apresentando diferenciação entre grupos neurônicos responsáveis por outras habilidades cognitivas diferentes, a exemplo da música, imagens visuais amplas (mapas, paisagens e etc), identificação de figuras humanas, habilidades motoras e etc. (DEHAENE et al, 1999; QIOAO, 2007).

Similarmente ao que acontece no âmbito da Física, o processo de aprendizagem da Matemática culmina na utilização de um conjunto semântico-cognitivo (próprio dos mecanismos de conceitualização) com estimulação de áreas cerebrais típicas (particulares). Agregam-se ao processo de estruturação de conceitos, dois fatores: 1) a formação estrutural de modelos mentais e de 2) modelos de natural visual (modelamento via representação mental). Ainda assim, a observação visual poderia ser essencial, todavia, não totalmente necessária para a formação estrutural do conceito. Soma-se ao processo de conceitualização e operacionalização matemático-formal a estimulação de caráter intermodal, i.e., a atuação de inúmeros estímulos isolados ou simultâneos (concomitantes).

Um conjunto de neurônios, designados por neurônios espelhos⁵ (*mirror neurons*) estão diretamente associados as funções neurocognitivas e cognitivas ligadas associativamente com representações *cross-modal* (intermodais) tais como: linguagem oral (fala) e atividades neurocognitivas de natureza psicomotora (ACHARYA E SHUKLA, 2016; ROGER et al, 2003, LAMEIRA et al, 2006), permitindo com que o desenvolvimento da comunicação no indivíduo

Grupos de neurônios ativados quando o indivíduo se movimenta ou observa outra pessoa se movimentar. Suas funções estão relacionadas com o sistema de percepção/ação, empatia, teoria da mente, imitação e predição de comportamentos (MENESES, 2017).⁴

seja mais efetivo sob tais condicionantes. Para Knops et al (2009) e Kucian et al (2013), a área associada ao raciocínio lógico matemático demonstra atividade neural particular que apresenta covariância diretamente ligada com a área cognitiva motora que pode ser prontamente favorável ao se trabalhar percepção visual (espacial) e tátil no deficiente auditivo, visto que córtex auditivo apresenta neuroplasticidade associada ao córtex visual.

De modo ulterior, os modelos mentais em situações de ensino e aprendizagem no âmbito de Física, elaborados num meio de neuroplasticidade intermodal, indicam a possibilidade de emulação dos respectivos neurônios espelhos de áreas relacionadas com regiões de raciocínio lógicos, memória, atenção, cognição emocional e lógico-espacial (GAZZOLA et al, 2007; MUTHUKUMARASWAMY e SINGH, 2008), neste caminho, a prática e os exercícios do tipo neurofeedback e biofeedback teriam o propósito de normalizar o desempenho das ações destes neurônios espelhos (PINEDA et al, 2008; PERKINS et al, 2010).

O aprimoramento a nível de otimização dos resultados em utilizações de neurofeedback podem ser expandidos em duas categorias: tanto na melhoria da capacidade de memorização (mnemônica), onde minimizaria a dissonância cognitiva, ou equitativamente, em empecilhos de natureza epistemológicos vinculados com a evolução conceitual (REA-RAMIREZ E CLEMENTE, 1998; TREAGUST E DUIT, 2008).

Todavia, o processo de aprendizagem apenas ocorrerá quando a memória de longo prazo (*long-term memory*)⁶ for devidamente consolidada, tal processo acontecerá se as devidas estratégias de aprendizagem se mantiverem por longos períodos de tempo e com frequência periódica nesses mesmos períodos, o que acarretará a nível bioquímico a estruturação e formação de proteínas a nível genético (JONES E MARCKEN, 2017; MAPURUNGA E CARVALHO, 2018). Ao se efetivado esse processo, existe a possibilidade do indivíduo se sobrepôr ou ultrapassar possíveis históricos de dificuldades cognitivas anteriormente observadas, pois a aprendizagem adquirida, nesse caso, a epigênese⁷, se superpõe a genética (CHANGEUX E CONNES, 1996, MARQUES-TEIXEIRA, 2002).

4.4 RELAÇÕES ENTRE LÍNGUA, LINGUAGEM E APRENDIZADO DO INDIVÍDUO SURDO

São memórias que podem ser retidas de horas a anos. Ela garante as informações da autobiografia do indivíduo (LENT, 2010).⁵
É a herdabilidade do fenótipo do indivíduo. Essa herança não envolve a sequência do DNA, mas pode envolver metilação do mesmo ou envelhecimento deste por proteínas histonas (TREVILATO; WERMECK, 2014).⁶

Língua e linguagem possuem significados e funções distintas, sendo que a primeira é parte da segunda, e segundo o Houaiss quer dizer: “Ling. Sistema de comunicação e expressão verbal de um povo, nação, país etc., que permite aos usuários expressar pensamentos, desejos e emoções”. A maioria das línguas tem a característica de serem orais, mas não podemos deixar de considerar as línguas de sinais, que são igualmente línguas, porém, numa modalidade diferente: espaço-visual ou gesto-visual, as caracterizando como tridimensionais.

A respeito da aquisição da linguagem dos sujeitos surdos, é possível inferir que dependendo do tipo de surdez, alguns surdos usam como língua natural a língua de sinais em vez da língua oral, pelo fato de possuírem um impedimento auditivo, o que vai interferir na aquisição da língua falada. É possível que na infância, essas crianças emitam alguns gracejos, mesmo adultos surdos podem emitir alguns sons, ou até mesmo pronunciar algumas palavras. Esse trabalho poderá ser facilitado com o acompanhamento de um profissional fonoaudiólogo, entretanto esse indivíduo estará incapacitado de elaborar frases inteiras e claras usando somente sua voz, e mesmo se vir a conseguir, sua comunicação total com um sujeito ouvinte ou falante ficará prejudicado por causa da falta da audição. A possibilidade de um indivíduo surdo vir a falar se dá por conta de que o problema auditivo se encontra apenas no aparelho humano responsável tão somente pela audição, não interferindo no funcionamento do aparelho fonador, responsável pela fala.

Sobre a língua de sinais e sua naturalidade, Quadros (1997) aponta que:

Tais línguas são naturais internamente e externamente, pois refletem a capacidade psicobiológica humana para a linguagem e porque surgiram da mesma forma que as línguas orais- da necessidade específica e natural dos seres humanos de usarem um sistema linguístico para expressar ideias, sentimentos e ações. As línguas de sinais são sistemas linguísticos que passaram de geração em geração de pessoas surdas. São línguas que não se derivam das línguas orais, mas fluíram de uma necessidade natural de comunicação entre pessoas que não utilizam o canal auditivo-oral, mas o canal espaço-visual como modalidade linguística. (QUADROS, 1997, p.47)

É importante conhecer o conceito de línguas naturais ou humanas, que, são aquelas adquiridas pelo sujeito de forma simples, natural, através da convivência com os usuários desta, diferente daquelas que exigem maior conhecimento específico, estudo mais especializado, como é o caso das línguas estrangeiras para os falantes. São consideradas línguas naturais aquelas formadas por um conjunto de signos arbitrários que possuem significados, garantindo comunicação entre seus usuários.

Compreendendo isso é importante considerar a LIBRAS como primeira língua para o surdo, pois ela não apresenta impedimentos para o processo aquisitivo desse sujeito, que já está habituado a usar as mãos para falar e os olhos para ouvir, o que acontece na execução dos sinais de língua de modalidade gesto-visual. Considerando assim, a língua portuguesa passa a ser segunda língua, pois o seu processo aquisitivo de dar para o surdo da mesma maneira do aprendizado de uma língua estrangeira para o ouvinte, que ocorre num ambiente apropriado e com metodologias específicas próprias para o ensino.

Algumas teses defendem que o desenvolvimento da inteligência dos surdos ocorre de forma diferente da dos ouvintes, seu pensamento está mais vinculado ao concreto, apresentando maiores dificuldades para a reflexão abstrata, isso não quer dizer, de forma alguma, que a capacidade intelectual do surdo seja inferior à do ouvinte. A ausência do som limitará o acesso à linguagem, que influirá no desenvolvimento do pensamento abstrato e reflexivo. Isso ocorre por conta da limitação que o surdo apresenta no acesso às informações, o que faz com que sua atenção se concentre em suas experiências internas. Hans Furth (1966, 1973) afirma que os dois grupos de pessoas têm competências cognitivas semelhantes e passam pelas mesmas etapas de desenvolvimento, embora nos surdos a evolução seja um pouco mais lenta, o autor atribui esse atraso às “deficiências experimentais” que o surdo vive.

A aquisição do conhecimento está muito relacionada com a capacidade de receber informação e de elaborá-la de forma adequada. Praticamente toda informação é transmitida através dos diferentes meios de comunicação: diálogos, livros, cinema, televisão, rádio. Na maioria desses âmbitos, as pessoas surdas têm sérias dificuldades de obter a informação que se transmite. Não é de se estranhar, portanto, que os surdos tenham conhecimentos da realidade muito mais restritos. (MARQUESI, 2004, p. 183).

É importante pensar que o simples contato do aluno surdo com a Língua Portuguesa em sala de aula não será o bastante para que ele a adquira, primeiro ele precisa dominar a língua que lhe é mais propícia, levando em conta suas limitações. A tendência que temos é pensar que o vocabulário é o centro de uma língua, porque para fins comunicativos precisamos ser capazes de nomear as coisas, entretanto, sem saber o princípio que norteiam a ordem das palavras numa língua, não é possível que haja compreensão dela, mesmo conhecendo seus itens lexicais. (GROLLA E SILVA, 2014, p.37).

Numa outra perspectiva, além do docente no âmbito escolar, os discentes de forma geral procuram outras fontes para sanarem dúvidas acerca do conteúdo ministrado em sala. As principais fontes de apoio são os livros didáticos, vídeos-aulas, sites educativos, edições de

revistas impressas, online e etc. Todavia no ambiente de sala de aula das escolas públicas o docente acaba por seguir o livro didático de forma metodológica. Subjetivamente o docente entende que o discente, não só o ouvinte, bem como o deficiente auditivo, tem domínio da leitura em língua portuguesa.

O que encontramos na realidade é o fato oposto a isso quando tratamos da educação de discentes com surdez e usuários da LIBRAS, que pouco dominam a Língua Portuguesa e tem pouquíssimo acesso aos conteúdos em sua primeira língua como garante a Lei 10.436/2002. Na perspectiva da alfabetização (em Língua Portuguesa), alguns estudos atuais (Capovilla, Scliar-Cabral e outros) apontam que para crianças ouvintes o melhor método é pelo sistema fônico, que consiste em primeiro ensinar os sons da língua para depois ensinar a palavra e a escrita desta, numa relação grafema-fonema. Isso se comprova no fato de muitos indivíduos surdos sentirem dificuldade no aprendizado da modalidade escrita do Português, uma vez que esse estágio inicial de conhecer os sons é inviável para os mesmos. A falta de domínio da língua escrita tem implicações direta na compreensão de conceitos físicos e propriamente no ensino de física. Haja vista que o discente com surdez é incapaz de notar a relação entre escrita e som da palavra (grafo-fonêmica), necessária segundo Barboza e Souza (2017), para apreensão da capacidade de leitura, implicando numa maior dificuldade de compreensão do conceito ou ideia física pela via escrita.

5 PROCEDIMENTOS

As atividades pedagógicas foram desenvolvidas no laboratório de física da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia no Campus de Itapetinga. Para o desenvolvimento de tais atividades levou-se em consideração três etapas:

1. Seleção do conteúdo;
2. Local;
3. Registro das atividades.

Após sondagem prévia com os discentes surdos foi observado que os mesmos apresentavam graves dificuldades na elaboração do pensamento metodológico-científico, alguns desses discentes como relatado pela intérprete não tiveram aulas de Libras e nem foram alfabetizados em língua portuguesa nas séries iniciais, somente após os 14 anos conheceram a Libra. Levando em consideração essa realidade optou-se por desenvolver atividades apenas de natureza conceitual sobre a grandeza física frequência.

5.1 PÚBLICO ALVO

O produto educacional foi aplicado a um grupo de quatro discentes surdos, sendo dois deles ex-aluno e dois alunos da Rede Federal de Educação Tecnológica do município de Itapetinga-BA.

5.2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A aplicação aconteceu no decorrer dos meses de abril a julho de 2018. Entre esses meses foram realizados 4 encontros de 60 minutos cada, conforme explicitados a seguir de forma bastante resumida.

1º Encontro

Tempo: 60 minutos

Objetivo: Comprovar a hipótese acerca da inadequação entre a utilização da língua portuguesa em sua forma escrita e a incompreensão dos discentes surdos no processo de aprendizagem.

Atividade: Avaliação diagnóstica em língua portuguesa escrita composta por cinco questões de natureza conceitual e apresentação do primeiro software.

2º Encontro

Tempo: 60 minutos

Objetivo: Construir os símbolos associadas ao tempo, frequência e frequência sonora levando em conta qualquer conhecimento que o discente surdo possua sobre física.

Atividade: Avaliação diagnóstica em língua portuguesa escrita composta por quatro questões em um primeiro momento. Em um segundo momento avaliação diagnóstica em LIBRAS e apresentação do segundo software.

3º Encontro

Tempo: 60 minutos

Objetivo: Realizar avaliação prognóstica em LIBRAS contendo três questões de natureza conceitual sobre os temas construídos e apresentar o tema de frequência sonora.

Atividade: Avaliação diagnóstica em LIBRAS e apresentação do terceiro software.

4º Encontro

Tempo: 60 minutos

Objetivo: Avaliação prognóstica dos discentes surdos em LIBRAS que como objetivo verificar a eficiência da metodologia escolhida para o processo de ensino-aprendizagem.

5.3 DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O processo metodológico para o ensino de frequência sonora levando em conta a literatura específica sobre neurociência cognitiva, linguística e semiótica tal como foi elaborada ao final de quatro encontros no decorrer dos meses de Abril a Junho de 2018, utiliza estratégias didáticas vinculadas ao conceito de neuroplasticidade que caminha em linhas paralelas aos conceitos de neurofeedback e biofeedback associada às funções visual, tátil, espaço gestual e memória visual. Para excitar os córtex associados às funções mencionadas utilizam-se um conjunto de três programas computacionais que interagem com a plataforma arduino.

Os softwares desenvolvidos para compor essa metodologia tiveram uma relação direta com os conceitos de frequência e frequência sonora. No primeiro software, os discentes surdos manipularam a frequência de oscilação de uma bolinha na tela de um computador via

plataforma arduino manipulando um potenciômetro. No segundo software, os discentes surdos manipularam a frequência de oscilação entre o estado aceso e apagado de um led e no terceiro software, os discentes surdos manipularam a frequência de uma nota musical emitida por um alto falante enquanto variavam a distância relativa entre sua mão e um sensor ultrassônico.

6 RESULTADOS E ANÁLISES

Há variáveis cognitivas objetivas que revelam processos cognitivos subjetivos, uma dessas variáveis é a linguagem corporal. Há variados exemplo bem estudos na literatura e aceitos pela maioria da comunidade acadêmica sobre essa forma de linguagem não-verbal. Tecnicamente autores como Davis (1979), Ekman (1973), na década de 70 e Knapp (1980) e Silva (1987), na década de 80, subdividiram a linguagem corporal em cinco:

1. Tacêtica: que se torna clara através do toque;
2. Proxêmica: que se manifesta pelo uso do espaço físico;
3. Paralinguagem: associada a modulação do tom e intensidade da voz;
4. Cinésica: que relaciona gestos e expressões faciais a processos cognitivos;
5. Características físicas: estrutural corporal e aparência.

Os resultados desse trabalho foram analisados sobre a perspectiva da linguagem não-verbal, que segundo Pease (2004), em “Desvendando os segredos da linguagem corporal”, garante relação direta entre o processo de aprendizagem e expressão faciais. Nos trabalhos do professor Mehrabian (2013) e das pesquisadoras Otta e Sarra (1990), especifica-se que uma das relações entre a aprendizagem e expressões faciais é o sentir-se bem, manifestando-se facialmente através de um sorriso de contentamento.

Valendo-se da relação entre aprendizagem e sorriso de contentamento, considera-se que o resultado obtido com a aplicação dessa sequência didática foi ótimo, como se pode observar nas figura (27), (28), (29) e (30) para um dos alunos surdos.

Figura 27: Discente com deficiência auditiva sorrindo enquanto manipula o software.



Fonte: arquivo do autor.

Figura 28: Discente com deficiência auditiva manipulando o software.



Fonte: arquivo do autor.

Figura 29: Discente com deficiência auditiva sorrindo e manipulando o software.



Fonte: arquivo do autor.

Figura 30: Discente com deficiência auditiva argumentando sobre o conceito de frequência enquanto manipula o primeiro software.



Fonte: arquivo do autor.

Em uma análise respaldada naquilo que foi sucintamente exposto até o presente momento, formados pela decorrência de resultados experimentais (materiais) da Neurociência Cognitiva, resume-se indicadores que possivelmente otimizará o processo de aprendizagem no âmbito do Ensino de Física para discente com deficiência auditiva:

1. Destacar a aprendizagem da Física ao redor da fase de observação (primeiridade semiótica ou percepção) amparando-a na criação da periodicidade, regularidades, princípios, leis, preceitos, regras, especificações, em oposição a procedimentos de conceitualização de natureza mnemônica;
2. Conectar o sistema de fundamento simbólico e sógnico da Física com outros conjuntos semânticos cognitivos (representacionais), entretanto dos quais os significados sejam homeomorfos e concordantes entre si;
3. Para um mesmo domínio conceitual (conceitos e teoremas-em-ação), empregar atividades diferenciadas que englobem capacidades representacionais com lateralidade cerebral distinta, porém que possuam conexão e mutuabilidade cognitivo-funcional;
4. Utilizar atividades abrangendo estimulação e expressão intermodal, isto é, lidando com variados estímulos sensoriais diferenciados, de modo particular ou em sincronia;
5. Potencializar processos e procedimentos sensório-motores de emulação humana de protótipos de comportamentos ligados a circunstâncias de ensino-aprendizagem em física, prioritariamente dispondo-os em um arranjo hierárquico de diversidade, heterogeneidade, multiplicidade e variedade de natureza complexa.
6. Coordenar, ordenar e vincular as imagens mentais (*mental imagery*) associadas a episódios didáticos da Física com diferentes conjuntos semânticos (gestual, verbal, gráfico, pictórico, visual, etc.), empregando nesta situação táticas metacognitivas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

As Neurociências, mas detalhadamente a Neurociência Cognitiva possui contribuição direta para a compreensão a nível de entendimento no âmbito do Ensino de Física, pois existe a suposição de natureza epistemológica sobre a aprendizagem. O que implica se tratar de um processo de aquisição e domínio linguístico, compreendido em sua acepção semiótica. Em outros termos, significa que o ensino precisa ponderar impreterivelmente três fatores bem delimitados: a assimilação (percepção, das situações didáticas), a compreensão (momento do processo de conceitualização) e a consequente representação. A eficácia deste processo semiótico supõe no fundamento procedimentos de ensino que beneficiem táticas comunicativas-sócio-cognitivas, visto que a sustentação e o respaldo da existência, desenvolvimento e preservação de seja qual for o sistema de linguagem é o fato de que os indivíduos consigam estabelecer a comunicação e compreensão mútuas. As ciências como um todo e o conhecimento científico simplesmente continuam por causa dessa pressuposição: um procedimento comunicativo intrínseco com fundamentação baseado num sistema de linguagem praticado de maneira tática, estratégica, compreensível e consensual por seus colutores.

O ensino-aprendizagem no âmbito da Física deve ser observado como um processo, segundo Marques e Marandino (2018), de alfabetização científica, do qual o campo epistemológico deve considerar peculiaridades cognitivas próprias de cada indivíduo, admitindo e pressupondo como um sistema de linguagem. Levando em consideração um entendimento mais claro dos parâmetros e variáveis sócio-cognitivas da própria Física, existe a possibilidade de delimitar estratégias didáticas e metodológicas mais efetivas e poderosas pretendendo o aperfeiçoamento das funções cognitivas.

Nesse contexto, a inclusão dos discentes com necessidades educacionais específicas mostra a vulnerabilidade dos processos comunicativos epistemológicos que são utilizados na escola contemporânea e no campo educacional de maneira geral. Considerando como referência os discentes com deficiência auditiva, nota-se a carência de informações aprofundadas do sistema cognitivo destes indivíduos para traçar ações mais precisas, mas não deixando de considerar apenas e separadamente este público, e sim a pluralidade dos discentes em geral.

Em um trabalho posterior será considerado uma perspectiva a luz da semiótica de Derrida (1930 – 2004). Nessa consideração o conceito de significado (conteúdo do signo) precede a estrutura do significante (forma do signo), garantindo que não há uma relação direta

ou linear entre ambos, mas do contrário, tem-se possibilidades de câmbios variados para os significados em linha de retransmissão de um significante a outro.

8 REFERÊNCIAS

- ALCOCK, J. (2011). *Comportamento animal*. coordenador da tradução: Eduardo Bessa ; revisão técnica: Regina Helena Ferraz Macedo. – 9. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre : Artmed.
- ALEMAN, A., VAN LEE, L., MANTIONE, M., VERKOIJEN, I. & DE HAAN, E. H. D. (2001). Visual Imagery Without Visual Experience: Evidence from Congenitally Totally Blind People. *NeuroReport* (12) 2601-2604.
- ALMEIDA, F. E. L. (2009). O contrato didático na passagem da linguagem natural para a linguagem algébrica e na resolução da equação na 7ª série do ensino fundamental. 2009. 258 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências), Departamento de Educação, UFRPE, Recife, Brasil.
- AMEDI A, RAZ N, PIANKA P, MALACH R, ZOHARY E. (2003). Early ‘visual’ cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind *Nature Neuroscience*, 6(7), 758-66.
- ARDITI, A., HOLTZMAN, J. D., & KOSSLYN, S. M. (1988). Mental Imagery and Sensory Experience in Congenital Blindness. *Neuropsychologia* (26) 1-12.
- BARBOSA, D. T., SOUZA, N. N. (2017). O método fônico sob a perspectiva neuropsicológica. *Revista da UNIFEBE*, Brusque, v. 1, n 22.
- BARTOSZECK, A.B. (2007). *Neurociência na Educação* (apostila de curso). Universidade Federal do Paraná. Laboratório de Neurofisiologia,
- BAVELIER, D., & Neville, H. J. (2002). Cross -modal plasticity: Where and how? *Neuroscience*, 3, 443 -452.
- BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M. A. (2017). *Neurociências: desvendando o sistema nervoso*. 4ª edição. Porto Alegre: Artmed.
- BECHARA, A., DAMASIO, H., TRANEL, D., DAMASIO, A.R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*. v. 275, n. 5304, p. 1293-5.
- BERNHARDI, R.V., BERNHARDI, L.E., EUGENÍN, J. (2017). What Is Neural Plasticity? *Advances in experimental medicine and biology*. 1015:1-15.
- BÉRTOLO, H., PAIVA, T. (2001). Conteúdo visual em sonhos de cegos. *Psicologia, Saúde e Doenças*. II(1).
- BLAKEMORE, S.J., FRITH, U. (2005). *The learning brain: Lessons for education*. Oxford: Blackwell.
- BORGES, R. R., Borges, F. S., Lameu, E. L., Batista, A. M., Iarosz, K. C., Caldas, I. L., Antonopoulos, C. G.; Baptista, M. S. (2017). Spike timing-dependent plasticity induces non-trivial topology in the brain. *Neural Networks*.

BRONCKART, J.P. (2009). Atividade de linguagem, textos e discursos – por um interacionismo sóciodiscursivo. Trad. Ana Rachel Machado, Péricles Cunha. 2.ed. São Paulo: Educ.

CAMPANARIO, J.M., e OTERO, J. C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 2000, 18 (2), p.155-169.

CARDON, G., CAMPBELL, J., SHARMA, A. (2012). Plasticity in the Developing Auditory Cortex: Evidence from Children with Sensorineural Hearing Loss and Auditory Neuropathy Spectrum Disorder. *Journal of the American Academy of Audiology*. v. 23, n. 6, p.396-416.

CARTER, R., ALDRIDGE, S., PAGE, M., PARKER, S. (2009). O livro do cérebro, 1: funções e anatomia. São Paulo : Duetto.

CHANGEUX, J.P.; CONNES, A. (1996). Matéria e pensamento. Tradução de Luiz Paulo Rouanet. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista.

CICCONE, M. (1990). Comunicação Total - Introdução - Estratégia – A Pessoa Surda. Rio de Janeiro: Editora Cultura Médica Ltda.

COLIN, V. (2004). Images mentales et déficience visuelle : Ecrits psychomoteurs. *Evolutions psychomotrices*, n. 65,141-146.

DARWIN, C. (2000). A Expressão das emoções no homem e nos animais. São Paulo: Cia das Letras.

DAS, A., FRANCA, J.G., GATTASS, R., KAAS, J.H., NICOLELIS, M.A.L., TIMO-IARIA, C., VARGAS, C.D., WEINBERGER, N.M., VOLCHAN, E. (2001). The brain decade in debate: VI. Sensory and motor maps: dynamics and plasticity. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 34: 1497-1508.

DAVIS, F. A comunicação não-verbal. 6. ed. São Paulo: Summus, 1979.

DE GELDER, B., TAMIETTO, T., VAN BOXTEL, G., GOEBEL, R., HAHRAIE, S., VAN DEN STOCK, J., STIENEN, B.M.C., WEISKRANZ, L., PEGNA, A. (2008). Intact navigation skills after bilateral loss of striate cortex. *Current Biology*, 18 (24), 1128-1129.

DEHAENE, S., COHEN, L., SIGMAN, M., VINCKIER, F. (2005). The neural code for written words: a proposal. *Trends in Cognitive Sciences* 9(7).

DEHAENE, S., SPELKE, E., PINEL, P., STANESCU, R., TSIVIKIN, S. (1999). Sources of Mathematical Thinking: Behavioral and Brain-Imaging Evidence. *Science*, 284, 970.

DUVAL, R. (2009). Semiósis e pensamento humano : registros semióticos e aprendizagens intelectuais (Fascículo 1). Tradução Lênio Fernandes Levy e Marisa Roâni Abreu da Silveira. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física.

- DYE, M. W. G., Baril, D. E., & Bavelier, D. (2007). Which aspects of visual attention are changed by deafness? The case of the Attentional Network Test. *Neuropsychologia*, 45 (8), 1801 – 1811.
- EKMAN, P. Darwin and facial expression: a century of research in review. New York: Academic Press, 1973. Cap. 4, p. 169-221: cross-cultural studies of facial expression.
- FLAVELL, J.H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving, en Resnick, L.B. (ed.). *The nature of intelligence*. Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum.
- FUNDAMENTOS BIOLÓGICOS DA EDUCAÇÃO: despertando inteligências e afetividade no processo de aprendizagem. (2009). 4. ed. Rio de Janeiro: Wak Ed.
- GAUNET, F., THINUS-BLANC, C. (1996). Les représentations spatiales chez Le déficient visuel : apprendre à apprendre l'espace. *Enfance et cécité*. [Dossier]. - *Empan*, n. 23, 62-64.
- GROLLA, E., SILVA, M. C. F. (2014). *Para conhecer Aquisição da linguagem*. – São Paulo: Contexto.
- GRUSH, R. (2004). The Emulation Theory of Representation: Motor Control, Imagery, and Perception. *Behavioral And Brain Sciences*, 27 (3):377-396.
- HOLLINS, M. (1985). Styles of mental imagery in blind adults. *Neuropsychologia*. 23(4):561-6.
- HOUSSAIS, Antônio. (1991). *O que é língua*. 2 ed. São Paulo: Brasiliense.
- HOWARD-JONES, P. (2005). *An invaluable foundation for better bridges*. Blackwell Publishing Ltd.
- HWANG H.J., KWON K, IM C.H. (2009). Neurofeedback-based motor imagery training for brain-computer interface. *Journal Neuroscience Methods*.179(1).
- KANDEL, E., SCHWARTZ, J.H. (1982). Molecular biology of learning: modulation of transmitter release. *Science*: v. 218, n. 4571, 433-44329.
- KENNEDY J. M., JURICEVIC, I. (2006). Foreshortening, convergence and drawings from a blind adult. *Perception*, 35(6) 847 – 851.
- KNAUFF, M., MAY, E. (2006). Mental imagery, reasoning, and blindness. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v.59, 161 – 177.
- KNAPP, M.L. *La comunicación no verbal: el cuerpo y el entorno*. Barcelona: Paidós, 1980.
- KNOPS, A., THIRION, B., HUBBARD, E., MICHEL, V., DEHAENE, S. (2009). Recruitment of an Area Involved in Eye Movements During Mental Arithmetic. *Scienceexpress*.
- KOSSLYN, S. M., ALPERT, N. M., THOMPSON, W. L., MALJKOVIC, V., WEISE, S. B., CHABRIS, C. F., HAMILTON, S. E., RAUCH, S. L., BUONANNO, F. S. (1993). Visual-mental imagery activates topographically-organized visual cortex: PET investigations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 263–287.

KOSSLYN, S. M., BEHRMANN, M., JEANNEROD, M. (1995). The cognitive neuroscience of mental imagery. *Neuropsychologia*, v. 33, n. 11, 1335-1344.

BROUWER, L. E. J. (1981). *Cambridge Lectures on Intuitionism* (Cambridge Univ. Press, Cambridge).

LAMBERT, S., SAMPAIO, E., MAUSS, Y., SCHEIBER, C. (2004). Blindness and brain plasticity: contribution of mental imagery? An fMRI study. *Brain Research. Cognitive*, 20(1):1-11.

LENT, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios?: conceitos fundamentais da neurociência*. 2. ed. São Paulo: Editora Atheneu.

MARCHESE, A. (1996). Comunicação, linguagem e pensamento. Em César Coll; Jesus Palácios & Álvaro Marchesi. (Orgs.), *Desenvolvimento Psicológico e Educação* (pp. 200-216). Porto Alegre: Artes Médicas.

COLL, C., MARCHESE, A., PALACIOS, J. (2004). *Desenvolvimento psicológico e educação*. Vol. 2. *Psicologia da educação escolar*. 2 ed. Porto Alegre: Artmed.

MARQUES, C.A., MARQUES, L.P. (2003). Do universal ao múltiplo: os caminhos da inclusão. IN: LISITA, V. e SOUSA, L. (Org.) *Práticas educacionais, práticas escolares e alternativas de inclusão escolar*. Rio de Janeiro: DPA.

MENESES, D.A. (2017). *Arte, mente e matéria*. Porto Alegre, RS: Editora Fi.

MORRIS-KAY, Gillian M. (2010). The evolution of human artistic creativity. *Journal of Anatomy*. v. 1, n. 5, p. 208-11.

MUTHUKUMARASWAMY, S., SINGH, K. (2008). Modulation of the human mirror neuron system during cognitive activity. *Psychophysiology*. 45(6).

NEUPER C., SCHERER, R., REINER, M., PFURTSCHHELLER, G. (2005). Imagery of motor actions: differential effects of kinesthetic and visual-motor mode of imagery in single-trial EEG. *Brain Res Cogn Brain Res*.25(3).

NEUPER, C., SCHERER, R., WRIESSNEGGER, S., PFURTSCHHELLER, G. (2009). Motor imagery and action observation: modulation of sensorimotor brain rhythms during mental control of a brain-computer interface. *Clinical Neurophysiology*.120(2).

NIEDDERER, H. (2001). Physics Learning as Cognitive Development. In R. H. Evans, A. M. Andersen, H. Sørensen: *Bridging Research Methodology and Research Aims*. Student and Faculty Contributions from the 5th ESERA Summerschool in Gilleleje, Danmark. The Danish University of Education. P. 397-414.

NUERNBERG, A. H. (2008). Contribuições de vigotski para a educação de pessoas com deficiência visual. *Psicologia em Estudo*, Maringá, v. 13, n. 2, p. 307-316.

PASCUAL-LEONE, A., AMEDI, A., FREGNI, F., MERABET, L.B. (2005). The Plastic Human Brain Cortex Publisher: Annual Review of Neuroscience, 28:377-401.

PEASE, Allan. Desvendando os segredos da linguagem corporal. Rio de Janeiro: editor sextante. (p.18,19, 2004).

PEIRCE, C.S. (2000). Semiótica. Tradução José Teixeira Coelho Neto, 3.ed., São Paulo: Perspectiva.

PEREIRA, J. R., REIS, A. M., MAGALHÃES, Z. (2003). NEUROANATOMIA FUNCIONAL Anatomia das áreas activáveis nos usuais paradigmas em ressonância magnética funcional. Acta Médica Portuguesa, 16, p. 107 – 116.

PIATELLI-PALMARINI, M. (1983). Teorias da linguagem, teorias da aprendizagem: o debate entre Jean Piaget e Noam Chomsky. Organizado e compilado por Massimo Piatelli-Palmarini. Tradução de Álvaro Cabral. São Paulo: Cultrix: Editora da Universidade de São Paulo.

PINEDA A., BRANG D., HECHT E, E. L., CAREY S., BACON, M., FUTAGAKI, C., SUK, D., TOM, J., BIRNBAUM C., RORK A. (2008). Positive behavioral and electrophysiological changes following neurofeedback training in children with autism. Research in Autism Spectrum Disorders , 2. 557-581.

PINKERS, S. (1988). A computational theory of the mental imagery medium. NATO advanced research workshop on imagery and cognition, n. 42, 17-32.

QUADROS, R.M. (1997). Educação de Surdos: a aquisição da linguagem. Porto Alegre. Artes Médicas.

QIAO, E.T. (2007). Bases cérébrales de la lecture des mots manuscrits : Etude comportementale et en IRM fonctionnelle. Master de Sciences Cognitives. EHESS/ENS/Université PARIS 5.

RAYNARD, F. (1991). Se mouvoir sans voir. Education et rééducation fonctionnelle des aveugles et des malvoyants. Éditions : Corcelles-le-Jorat (Suisse) : Yva Peyret.

RANDALL, D., BURGGREN, W., FRENCH, K. (2000). Eckert - Fisiologia animal: mecanismos e adaptações. 4ªEd. Editora Guanabara Koogan S.A. Rio de Janeiro.

RAZ, N., AMEDI, A., ZOHARY, E. (2005). V1 Activation in Congenitally Blind Humans is Associated with Episodic Retrieval. Cerebral Cortex,15(9).

REA-RAMIREZ, M., CLEMENT, J. (1998). In search of dissonance: The evolution of dissonance in conceptual change theory. Paper presented at the Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Diego.

REYNOLDS, S. (2000). Learning is a verb: the psychology of teaching and learning. Scottsdale, AZ: Holcomb Hathaway Publishers. Smilkstein.

ROCHA, H. V., BARANAUSKAS, M. C. C. (2003). *Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador*. Campinas: NIED/ UNICAMP.

ROGERS S.J., HEPBURN, S.L., STACKHOUSE, T., WEHNER, E. (2003). Imitation performance in toddlers with autism and those with other developmental disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and allied disciplines*. 44:763–781.

ROS, T., MUNNEKE, M. A. M., DIANE, R., GRUZELIER, J. H., ROTHWELL, J. C. (2010). Endogenous control of waking brain rhythms induces neuroplasticity in humans *European Journal of Neuroscience*.31(4).

SADATO, N., PASCUAL-LEONE, A., GRAFMAN, J., DEIBER, M.P., IBAÑEZ, V., HALLETT, M. (1998). Neural networks for Braille reading by the blind. *Brain*, 121, 1213-1229.

SADATO, N., PASCUAL-LEONE, A., GRAFMAN, J., IBAÑEZ, V., DEIBER, M.P., DOLD, G. (1996). Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature*, 380, 526-528.

SALAS, R. (2008). *Estilos de aprendizaje a la luz de la Neurociencia*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.

SANTAELLA, L. (2005). *Matrizes da linguagem e pensamento: sonora, visual, verbal: aplicações na hipermídia*. São Paulo: Iluminuras e FAPESP.

SAUSSURE, F. (1916). *Curso de Linguística Geral*. São Paulo: Cultrix, 1988. Edição original. SALAS (2008) - SILVA, Raul Ernesto Salas . *Estilos de aprendizaje a la luz de la Neurociencia*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.

SMILKSTEIN, R. (2003). *We're born to learn: using the brain's natural learning process to create today's curriculum*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.

SILVA, A.A. *Julgamento de expressões faciais de emoções: fidedignidade, erros mais frequentes e treinamento*. São Paulo, 1987. 260 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo.

TABACOW, L.S. (2006). *Contribuições da Neurociência Cognitiva para a formação de Professores e Pedagogos*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação na Área de Ensino Superior do Centro de Ciências Sociais Aplicadas da Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

THÉORET, H., MERABET, L., PASCUAL-LEONE, A. (2004). Behavioral and neuroplastic changes in the blind: evidence for functionally relevant cross-modal interactions. *Journal of Physiology*. Paris 98.

TREAGUST, D. F., & DUIT, R. (2008). Conceptual change: A discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 297-328.

TREVILLATO, P.C., WERMECK, R. I. (2014). *Genética Odontológica*. São Paulo: Artes Médicas.

UNESCO. (1999). The science of thinking, and science for thinking: a description of cognitive acceleration through science education (CASE). Philip, Adey. International Bureau of Education, Switzerland.

VALADÃO, M. N., ISAAC, M. L., ROSSET, S. R. E., ARAUJO, D. B., SANTOS, A. C. (2013). Língua de sinais: visualizando a recepção da linguagem por meio de ressonância magnética funcional, *Rev. Est. Ling.*, Belo Horizonte, v. 21, n 2, p. 129-150.

VARELA, F., THOMPSON, E., ROSCH, E. (2003). A mente incorporada: ciências cognitivas e experiência humana. Porto Alegre: Artmed.

VARGHA-KHADEM, F.; GADIAN, D.G.; COPP, A.; MISHKIN, M. (2005). *FOXP2* and the neuroanatomy of speech and language. *Nature Reviews Neuroscience*. :131–138.

VERGNAUD. G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, v. 10, n. 23, p. 133-170.

VYGOTSKI, L. S. (1997b). Principios de la educación de los niños físicamente deficientes. En L. S. Vygotski, *Obras Escogidas V: Fundamentos de defectología* (pp. 59-72). Madrid: Visor.

VYGOTSKI, L. S. (1997c). Sobre el problema de la educación y del desarrollo lingüísticos del niño sordomudo. En L. S. Vygotski, *Obras Escogidas V: Fundamentos de defectología* (pp. 353- 354). Madrid: Visor.

VYGOTSKY, L.S. (1995). Fundamentos de la defectología. Obras Completas. Tomo 5. Editorial Pueblo y educación, Cuba.

WALSH, V. e Butler, S.R. (1996) The effects of visual cortex lesions on the perception of rotated shapes. *Behav. Brain Res.* 76, 127–142.

ZACKSENHOUSE M., LEBEDEV, M.A., CARMENA, J.M., O'DOHERTY, J.E., HENRIQUEZ, C., NICOLELIS M.A. (2007). Cortical modulations increase in early sessions with brain-machine interface. *PLoS One*.

APÉNDICE A



UESB
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO SUDESTE DA BAHIA



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



PRODUTO EDUCACIONAL

**AS CONTRIBUIÇÕES DA NEUROCIÊNCIA COGNITIVA PARA O ENSINO DE
FÍSICA EM DISCENTES COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA**

IRATANIO MAGNUN DE SOUZA SERPA SILVA

Vitória da Conquista – Bahia

2020

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

PRODUTO EDUCACIONAL

**AS CONTRIBUIÇÕES DA NEUROCIÊNCIA COGNITIVA PARA O ENSINO DE
FÍSICA EM DISCENTES COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA**

IRATANIO MAGNUN DE SOUZA SERPA SILVA

Produto educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Dr. Jorge Anderson Paiva Ramos.

Coorientador:

Prof. Dr. Luizdarcy Matos Castro.

Vitória da Conquista – Bahia

2020

O material apresentado neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores ou produção própria e utilizadas para fins didáticos. Caso sinta que houve violação de seus direitos autorais, por favor, contate os autores para solução imediata do problema. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico.

APRESENTAÇÃO

O produto educacional apresentado nesse material engloba a composição de três atividades didático-pedagógicas relacionadas ao ensino de física do som, mas especificamente ao conceito de frequência sonora, para discente com deficiência auditiva. A abordagem metodológica central baseia-se na proposta inclusiva recorrendo as definições de *empowerment* e *mainstreaming* da educação inclusiva para discentes com necessidades específicas. O intuito balizador é facilitar a compreensão do conceito de frequência sonora a estes discentes. A constituição fundamental deste produto educacional é formulada a partir da Dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física intitulada: “As Contribuições da Neurociência Cognitiva para o ensino de Física em Discentes Surdos”. E o artigo: “As Contribuições da Neurociência Cognitiva, Linguística e Semiótica para o Ensino de Física a Discentes Surdos”.

As atividades educacionais foram concebidas pelos Professores: Nome do aluno e Caline Gurunga, que estudaram o comportamento neuro-cognitivo-pedagógico presente na literatura específica. Vale ressaltar todavia que o Professor Danilo Meneses contribuiu fundamentalmente para elucidar e aplicar conceitos inter-relacionados com a neurobiologia da linguagem e por fim o professor Jorge Anderson que contribuiu para aparar as arestas textuais finais.

O propósito desse material é considerar as metodologias experimentais empregadas nos espaços de aprendizagem, vinculando as características cognitivas e física de discentes surdos para facilitar o ensino de grandezas e fenômenos físicos relevantes, tal como a frequência sonora conceito abordado nesse produto.

Espera-se que essa sequência didática consiga colaborar para práticas pedagógicas nas aulas de Física, além de preconizar indicações para trabalhos futuros que vislumbrem a contemplação dos pressupostos teóricos da neurociência cognitiva, linguística e semiótica.

1º Encontro

Tempo: 60 minutos

Objetivo: Comprovar a hipótese acerca da inadequação entre a utilização da língua portuguesa em sua forma escrita e a incompreensão dos discentes surdos no processo de aprendizagem.

Atividade: Avaliação diagnóstica em língua portuguesa escrita composta por cinco questões de natureza conceitual e apresentação do primeiro software.

2º Encontro

Tempo: 60 minutos

Objetivo: Construir os símbolos associadas ao tempo, frequência e frequência sonora levando em conta qualquer conhecimento que o discente surdo possua sobre física.

Atividade: Avaliação diagnóstica em língua portuguesa escrita composta por quatro questões em um primeiro momento. Em um segundo momento avaliação diagnóstica em LIBRAS e apresentação do segundo software.

3º Encontro

Tempo: 60 minutos

Objetivo: No primeiro momento foi realizado avaliação prognóstica em LIBRAS contando três questões de natureza conceitual sobre os temas construídos. Em um segundo momento foi apresentado o tema de frequência sonora.

Atividade: Avaliação diagnóstica em LIBRAS e apresentação do terceiro software.

4º Encontro

Tempo: 60 minutos

Objetivo: Avaliação prognóstica dos discentes surdos em LIBRAS como objetivo de verificar a eficiência da metodologia escolhida para o processo de aprendizagem.

AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

A avaliação diagnóstica é um instrumento de sondagem acerca dos conhecimentos preexistente que os discentes possuem. A presente avaliação será aplicada a quatro discentes com deficiência auditiva. Em um primeiro momento será aplicada em português escrito, posteriormente em libras com o auxílio da intérprete e professora Carine Gurunga de Matos do IF-Baiano do campus de Itapetinga.

Tema a ser sondado: Noção de frequência

1. Qual a primeira ideia que vem a sua cabeça quando se fala em frequência?
2. Em qual contexto essa ideia aparece mais facilmente em sua vida?
3. Poderias citar ao menos três exemplos do que consideras ter alguma associação com a ideia de frequência?
4. Os batimentos do coração, os dias da semana, as estações do ano, a luz, o som são propriedades que podemos associar a ideia de frequência?
5. O coração de um bebê recém-nascido bate aproximadamente de 120 a 160 vezes por minuto e de um adulto entre 60 a 80 vezes por minuto. Qual possui maior frequência?

Tema a ser sondado: Frequência Sonora

Definição: Frequência é uma grandeza física que indica o número de ocorrências de um determinado evento em um determinado intervalo de tempo. Matematicamente a frequência pode ser definida como segue:

$$f = \frac{\text{Número de ocorrência de um evento}}{\text{intervalo de tempo}} = \frac{n^\circ}{\Delta t} = \frac{1}{t}$$

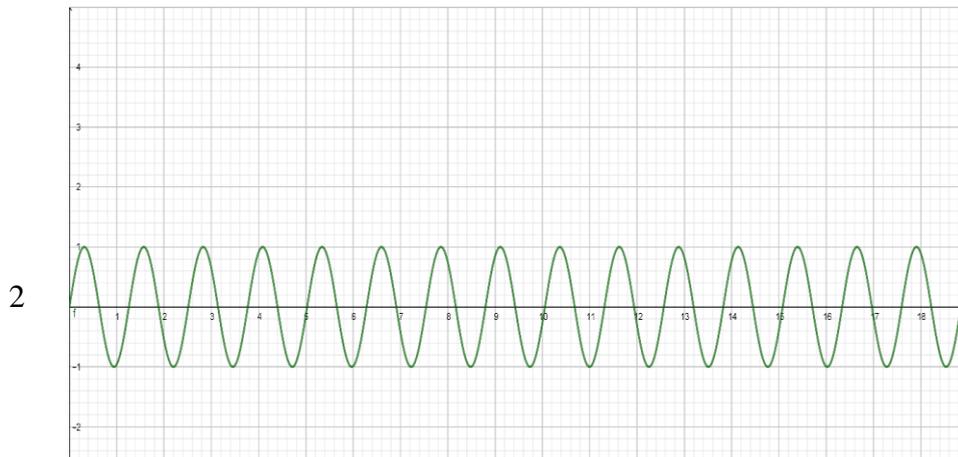
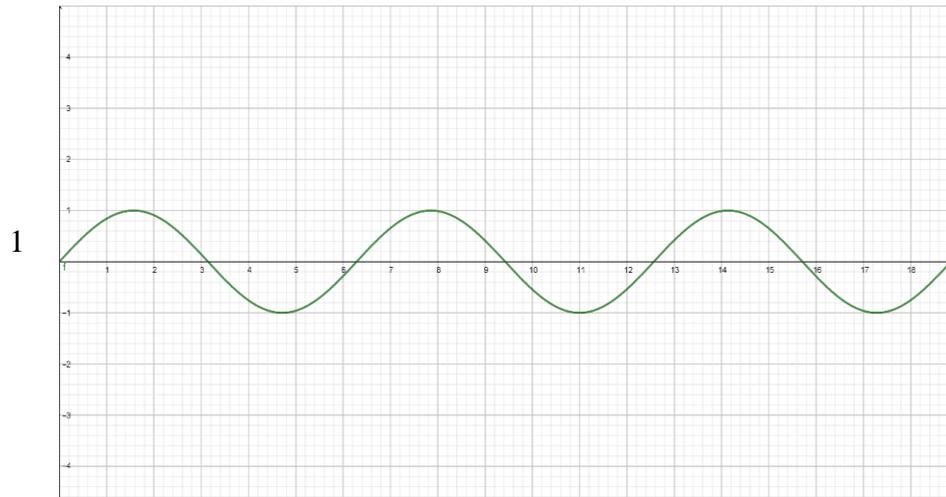
A frequência no sistema internacional de medidas (SI) é medida em Hertz que possui a abreviação Hz, assim sendo:

$$1 \text{ hertz} = 1\text{Hz} = 1 \text{ oscilação por segundo} = 1\text{s}^{-1}$$

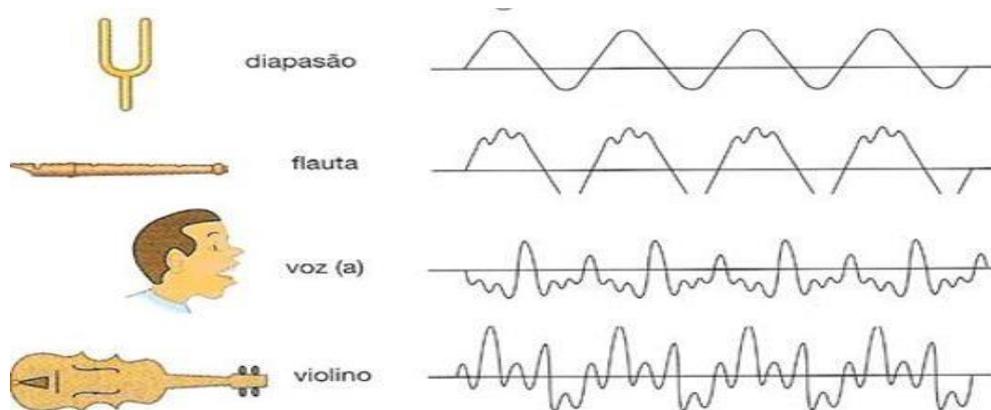
1. Baseado no que você conhece poderíamos associar uma frequência a um som?

2. Quanto maior a frequência maior o número de oscilações por unidade de tempo. Quando menor a frequência menor o número de oscilações por unidade de tempo.

Observando a figura abaixo, qual som possui a maior frequência? E a menor frequência?



3. A figura abaixo mostra quatro diferentes ondas sonoras com frequência que também são diferentes entre si. Qual você julgaria possuir a maior frequência e a menor frequência?



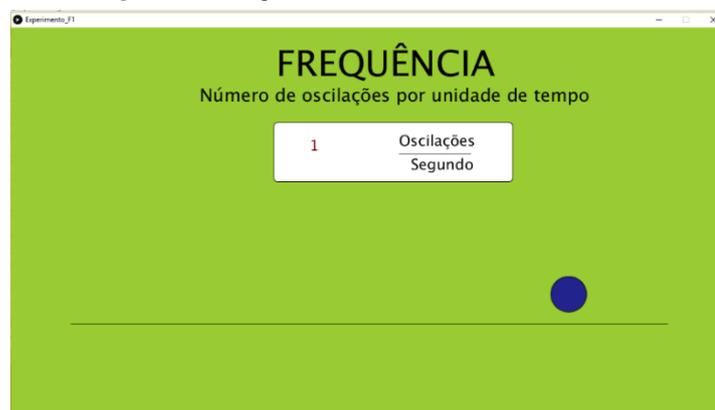
Após a aplicação dessa primeira avaliação diagnóstica introduz-se três atividades as quais designamos por:

1. **“BOLINHA OSCILATÓRIA”**: aborda o número de vezes por segundo que uma bolinha vem e volta para um ponto fixo da tela do computador.
2. **“PISCA-PISCA O LED”**: aborda o número de vezes que um led altera seu estado entre aceso e apagado por segundo.
3. **“SOM NO BARBANTE”**: mostra como um barbante oscila na mesma frequência que a fonte produtora do sinal. Podemos ver também a produção de ondas longitudinais.

BOLINHA NA TELA

O discente surdo pode manipular a frequência de oscilação de uma bolinha na tela de um computador via hardware e software, figura (31).

Figura 31: imagem do software em funcionamento



Fonte: arquivo do autor

Material necessário para confecção do Hardware:

- Protoboard;
- Potenciômetro;
- 3 jumpers;
- Arduino Uno;
- Cabo Serial;
- Microcomputador ou Laptop;

Na montagem, fixa-se o potenciômetro no protoboard, posteriormente fixa-se 3 jumpers em cada pino do potenciômetro através do protoboard dos quais os dois mais extremos são ligados no 5V e ao GND do Arduino, o jumper central liga-se ao pino de coleta de dados analógico A0 do Arduino.

Logo após é solicitado que os discentes surdos rotacionem o potenciômetro no sentido horário e observem que o número na parte superior da tela muda e que tal número corresponde a frequência de oscilação da bolinha na tela, mudando também a “rapidez” com que a bolinha vai e retorna ao ponto direito da tela. Em um outro momento posterior é solicitado aos discentes que rotacionem o potenciômetro no sentido anti-horário e notem que a medida que rotacionam o número na parte superior da tela diminui provocando uma diminuição da “rapidez” da bolinha.

Uma vez executado esse procedimento é solicitado aos discentes que respondam a seguinte avaliação prognóstica:

AVALIAÇÃO PROGNÓSTICA:

A avaliação prognóstica é um instrumento didático-pedagógico que é utilizado na varredura dos conhecimentos adquiridos posteriormente a uma prática pedagógica.

1 – Existe uma vinculação direta entre o número da parte superior da tela e a “rapidez” com que a bolinha vai e retorna ao lugar direito mais extremo da tela?

2 – Essa grandeza é igual ou diferente ao conceito de frequência que foi apresentado na avaliação diagnóstica?

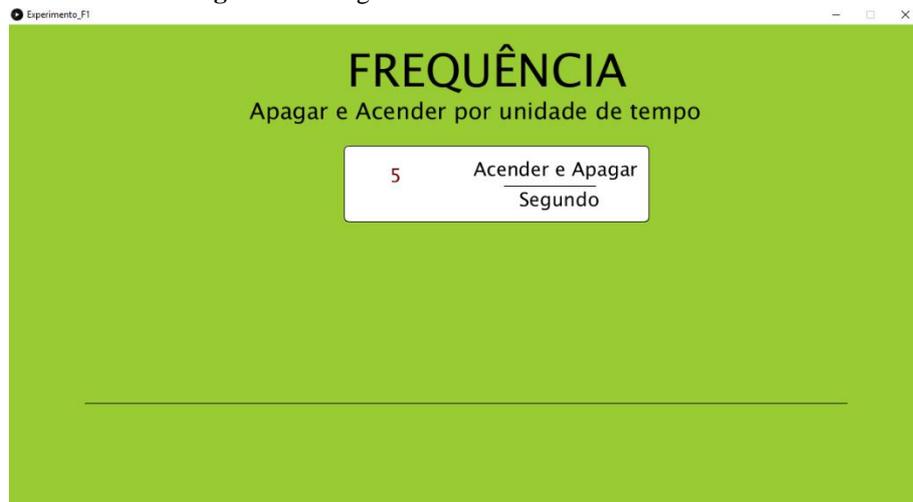
3 – Se agora ajustarmos o número na parte superior da tela para 6, 10, 0.5, 12 e 0.3. Em quais desses números a bolinha vai e volta para o lugar direito mais extremo da tela com a) maior

rapidez? b) com menor rapidez? c) ordene do menor para o maior conforme a “rapidez” na tela.
Dica: A unidade desses números é Hz.

PISCA-PISCA O LED

O discente surdo pode manipular a frequência de oscilação entre o estado aceso e apagado de um led via hardware e software, figura (32).

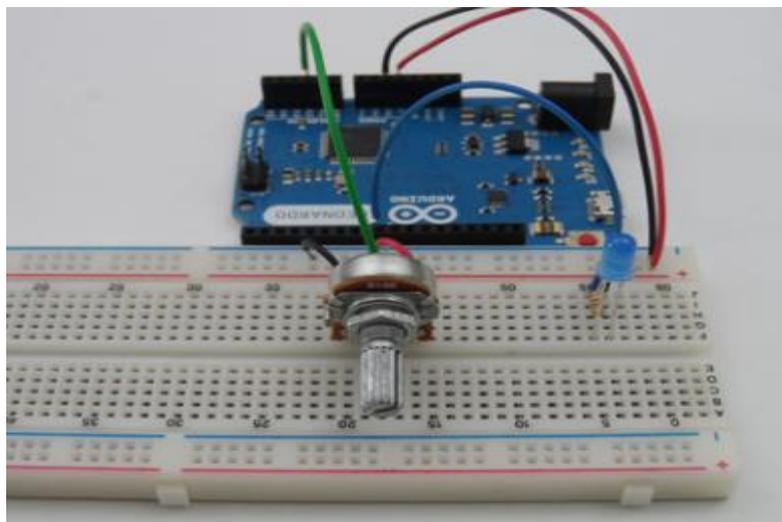
Figura 32: imagem do software em funcionamento



Fonte: arquivo do autor

Material necessário para confecção do hardware, figura (33):

Figura 33: imagem do hardware



Fonte: arquivo do autor

- Protoboard;
- Potenciômetro;
- Led azul;
- 3 jumpers;
- Arduino Uno;
- Cabo Serial;
- Microcomputador ou Laptop;

Na montagem, fixa-se o potenciômetro no protoboard, posteriormente fixa-se 3 jumpers em cada pino do potenciômetro através do protoboard dos quais os dois mais extremos são ligados no 5V e ao GND do Arduino, o jumper central liga-se ao pino de coleta de dados analógico A0 do Arduino.

Logo após é solicitado que os discentes surdos rotacionem o potenciômetro no sentido horário e observem que o acender e apagar do led vai aumentando e o número na parte superior da tela, por conseguinte aumenta, mudando também a “rapidez” com que o led acende e apaga por segundo. Em um outro momento posterior é solicitado aos discentes que rotacionem o potenciômetro no sentido anti-horário e notem que a medida que rotacionam, o acender e apagar do led diminui provocando uma diminuição da “rapidez” desse comportamento e por conseguinte o número na parte superior da tela também diminui.

Uma vez executado esse procedimento é solicitado aos discentes que respondam a seguinte avaliação prognóstica:

AVALIAÇÃO PROGNÓSTICA:

A avaliação prognóstica é um instrumento didático-pedagógico que é utilizado na varredura dos conhecimentos adquiridos posteriormente a uma prática pedagógica.

1 – Existe uma vinculação direta entre o número da parte superior da tela e a “rapidez” com que o led acende e apaga?

2 – Essa grandeza é igual ou diferente ao conceito de frequência que foi apresentado na avaliação diagnóstica e na atividade da bolinha na tela?

3 – Se agora ajustarmos o número na parte superior da tela para 6, 10, 0.5, 12 e 0.3. Em quais desses números o led acende e apaga com a) maior rapidez? b) com menor rapidez? c) ordene

do menor para o maior conforme a “rapidez” no apagar e acender do led. Dica: A unidade desses números é Hz.

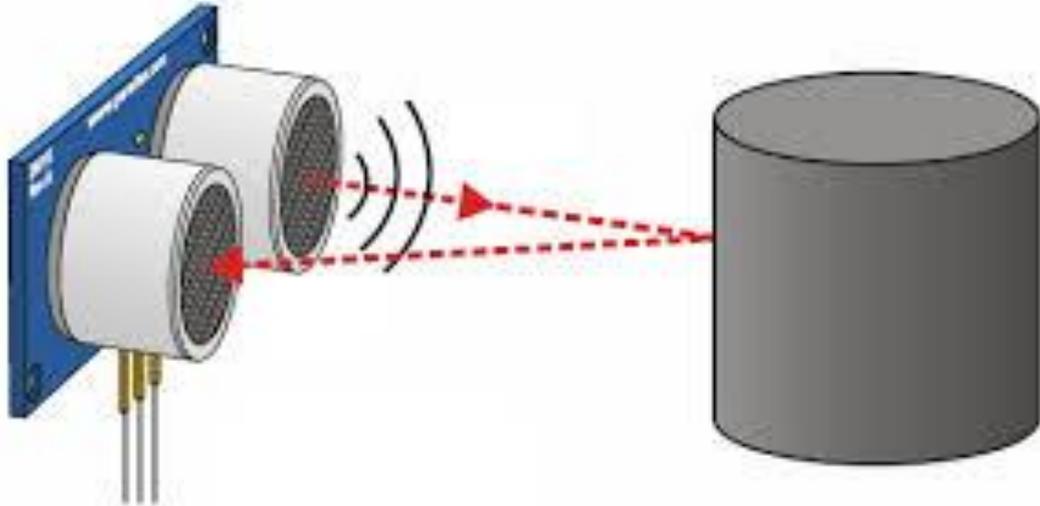
4 – Ajuste o número na tela para 60 Hz e responda: é possível notar o apagar e acender do led?

Curiosidade: As lâmpadas de nossas residências apagam e acendem 60 vezes por segundo.

SOM NO BARBANTE

O discente surdo pode manipular a frequência de uma nota musical emitida por um alto falante quando varia a distância relativa entre sua mão e um sensor ultrassônico de distância. O som propaga-se por um barbante fixado ao fone de um alto falante e a um ponto fixo distando 45 cm desse fone. Ao variar a distância relativa entre a mão e o sensor o software converse com os dados do sensor em frequências sonoras que são imediatamente apresentadas na tela do microcomputador ou laptop juntamente com a nome da nota musical e distância relativa entre a mão e o sensor, figura (34).

Figura 34: esquema do funcionamento de uma sensor de ultrassom



Fonte: arquivo do autor

Figura 35: imagem do software em funcionamento

Fonte: arquivo do autor

Material necessário para confecção do hardware:

- Protoboard;
- Sensor ultrassônico de distância (HC-SR04);
- 4 jumperes;
- Arduino Uno;
- Cabo Serial;
- Microcomputador ou Laptop;

Na montagem, fixa-se o sensor de ultrassônico de distância no protoboard, posteriormente fixa-se 4 jumperes em cada pino do sensor ultrassônico de distância através do protoboard dos quais os dois mais extremos são ligados no 5V e ao GND do Arduino, o pino mais a direita Vcc é ligado pino 8 do Arduino e o pino mais esquerda do GND é ligado ao pino 9 conforme se explicita no código fonte para o Arduino mais acima.

Logo após é solicitado que os discentes surdos posicionem uma das mãos em frente ao sensor e varie a distância ao mesmo. Essa variação será detectada pelo sensor ultrassônico e posteriormente captada pelo Arduino que imediatamente enviará esse dado para o microcontrolador ou laptop e esse converterá os dados de distância em frequência sonora a ser emitida pelo alto falante. Ao mesmo tempo o discente surdo pode observar na tele do microcomputador ou laptop qual nota musical está sendo emitida e qual distância sua mão está no sensor ultrassônico.

Uma vez executado esse procedimento é solicitado aos discentes que respondam a seguinte avaliação prognóstica:

AValiação Prognóstica:

A avaliação prognóstica é um instrumento didático-pedagógico que é utilizado na varredura dos conhecimentos adquiridos posteriormente a uma prática pedagógica.

1 – Existe uma vinculação direta entre a frequência da nota musical emitida pelo alto falante e o barbante vibrar mais rápido ou mais devagar?

2 – Essa grandeza é igual ou diferente ao conceito de frequência que foi apresentado na avaliação diagnóstica, na atividade da bolinha na tela e no pisca-pisca led?

3 – Se agora ajustarmos sua mão para as seguintes distâncias: 6 cm, 10 cm, 20 cm, 12cm, 30 cm e 38 cm. Em quais dessas distâncias a frequência música ou nota musical produz uma a) maior vibração? b) com menor vibração? c) ordene da menor para a maior vibração observada no barbante e diga qual nota música possui a maior frequência, menor frequência. Dica: Cada nota musical possui sua frequência correspondente.

4 – Ajuste o número na tela para 33 Hz, 888 Hz e 132 Hz e responda: é possível sabermos qual a nota mais grave e mais aguda entre essas? Curiosidade: Quanto maior a frequência sonora mais agudo é o som e quanto menor a frequência sonora mais grave é o som. Em as vozes dos homens são mais graves que as vozes das mulheres, ou seja, as vozes masculinas vibram menos que as vozes femininas.

APÊNDICE B

Foram elaborados seis software. Um para plataforma do microcontrolador Arduino e outro para a linguagem Processing.

1 - BOLINHA NA TELA

Código fonte do software:

Arduino:

```
float pot;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  pot = analogRead(0);
  delay(10);
  Serial.write(pot);
}
```

Processing:

```
import processing.serial.*;
import cc.arduino.*;

Arduino arduino;

int C=1200, A=660;

float tempo,s=0,x,f=0;

void setup()
{
  size(1200,660);

  arduino = new Arduino(this, Arduino.list()[0], 9600);
```

```
}  
  
void draw()  
{  
  background(153,204,50);  
  
  f=arduino.analogRead(0);  
  
  f=map(f,0,1023,0,30);  
  
  fill(255);  
  
  rect(440, 160, 400, 100, 7);  
  
  fill(0);  
  
  textSize(25);  
  
  text("Oscilações",580+70,200);  
  
  text("Segundo",600+70,240);  
  
  line(580+70,213,700+70,213);  
  
  fill(111,0,0);  
  
  text(int(f),500,208);  
  
  textSize(60);  
  
  fill(0);  
  
  text("FREQUÊNCIA",C/2.7,A/8);  
  
  textSize(30);  
  
  text("Número de oscilações por unidade de tempo",C/3.8,A/5.3);  
  
  fill(35,35,142);  
  
  line(100,500,1100,500);  
  
  delay(1);  
  
  if(s<1000000000)
```

```
{  
  s=s+1;  
  x=500*cos(radians(int(f)*s));  
  ellipse(x+600,450,60,60);  
}  
}
```

2 - PISCA-PISCA O LED

Código fonte do software:

Arduino:

```
float pot;  
  
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  pinMode(13, OUTPUT);  
}  
  
void loop() {  
  pot = analogRead(0);  
  digitalWrite(13, HIGH);  
  delay(pot);  
  digitalWrite(13, LOW);  
  delay(pot);  
  Serial.write(pot);  
}
```

Processing:

```
import processing.serial.*;

import cc.arduino.*;

Arduino arduino;

void setup()

{

  size(1200,660);

  //arduino = new Arduino(this, Arduino.list()[0], 57600);

}

void draw()

{

  background(153,204,50);

  f=arduino.analogRead(0);

  f=map(f,0,1023,0,30);

  fill(255);

  rect(440, 160, 400, 100, 7);

  fill(0);

  textSize(25);

  text("Acender e Apagar",540+70,200);

  text("Segundo",600+70,240);

  line(580+70,213,700+70,213);

  fill(111,0,0);

  text(int(f),500,208);

  textSize(60);

  fill(0);
```

```

text("FREQUÊNCIA",C/2.7,A/8);

textSize(30);

text("Apagar e Acender por unidade de tempo",C/3.8,A/5.3);

fill(35,35,142);

line(100,500,1100,500);

}

```

3 SOM NO BARBANTE

Código fonte do software:

Arduino:

```

// Frequência das notas;

float nota[ ]=
{33,37.06,41.5,44.05,49.4,55.5,62.3,66,74.05,83.1,88.1,98.8,111.0,124.6,132,148.1,166.32,17
6.22,197.74,222,249.22,264,296.2,332.6,352.4,395.5,444,498.4,528,592.42,665.2,704.8,790.9
,888,996.8};

// Leitura HCSR04

const uint8_t trig_pin = 10;

const uint8_t echo_pin = 9;

uint32_t print_timer;

void setup() {

Serial.begin(9600); // Habilita Comunicação Serial a uma taxa de 9600 bauds.

// Configuração do estado inicial dos pinos Trig e Echo.

pinMode(trig_pin, OUTPUT);

pinMode(echo_pin, INPUT);

```

```

digitalWrite(trig_pin, LOW);

}

void loop() {

// Pulso de 5V por pelo menos 10us para iniciar medição.

digitalWrite(trig_pin, HIGH);

delayMicroseconds(11);

digitalWrite(trig_pin, LOW);

/* Mede quanto tempo o pino de echo ficou no estado alto, ou seja,
o tempo de propagação da onda. */

uint32_t pulse_time = pulseIn(echo_pin, HIGH);

/* A distância entre o sensor e o objeto será proporcional a velocidade
do som no meio e a metade do tempo de propagação. Para o ar na
temperatura ambiente  $V_{\text{som}} = 0,0343 \text{ cm/us}$ . */

double distance = 0.01715 * pulse_time;

/*Emite o som da nota*/

float n=map(distance,3,40,0,35);

delay(10);

Serial.write(int(distance));

}

```

Processing:

```

import processing.serial.*;

Serial porta;

import processing.sound.*;

SinOsc seno;

String[ ] palavra = { "2Dó", "2Ré", "2Mi", "2Fá", "2Sol", "2Lá", "2Si", "1Dó", "1Ré", "1Mi", "1Fá",
"1Sol", "1Lá", "1Si", "Dó", "Ré", "Mi", "Fá", "Sol", "Lá", "Si", "1Dó", "1Ré", "1Mi", "1Fá",
"1Sol", "1Lá", "1Si", "2Dó", "2Ré", "2Mi", "2Fá", "2Sol", "2Lá", "2Si" };

String[ ] CM =
{"33", "37.06", "41.5", "44.05", "49.4", "55.5", "62.3", "66", "74.05", "83.1", "88.1", "98.8", "111.0",
"124.6", "132",
"148.1", "166.32", "176.22", "197.74", "222", "249.22", "264", "296.2", "332.6", "352.4", "395.5", "
444", "498.4", "528", "592.42", "665.2", "704.8", "790.9", "888", "996.8" };

String[ ] oitava = { "Duas oitavas abaixo", "Uma oitava abaixo", "Escala natural", "Uma oitava
acima", "Duas oitavas acima" };

float[ ] nota =
{33,37.06,41.5,44.05,49.4,55.5,62.3,66,74.05,83.1,88.1,98.8,111.0,124.6,132,148.1,166.32,17
6.22,197.74,222,249.22,264,296.2,332.6,352.4,395.5,444,498.4,528,592.42,665.2,704.8,790.9
,888,996.8};

void setup()

{

size(800,500);

porta = new Serial(this,"COM3",9600);

seno = new SinOsc(this);

seno.play();

}

```

```
void draw()
{
  background(255);

  if(porta.available(>0)
  {
    int n = porta.read();
    if((n>=0)&&(n<35))
    {
      seno.amp(10.0);
      seno.freq(nota[int(n)]);
    }
    if((n>=3)&&(n<38))
    {
      textSize(15);
      fill(0);
      text("Frequência Hz", 610,100);
      textSize(40);
      fill(0,0,156);
      text(CM[int(n-3)], 625,170);
      textSize(15);
      fill(0);
      text("Distância ao Sensor em cm", 570,250);
      textSize(40);
```

```
fill(0,0,156);

text(int(n-3), 655,320);

line(550,0,550,475);

textSize(30);

if((n>=3)&&(n<=9))

{

text(oitava[int(0)],140,100);

}

else if((n>9)&&(n<=16))

{

text(oitava[int(1)],140,100);

}

else if((n>16)&&(n<=23))

{

text(oitava[int(2)],140,100);

}

else if((n>23)&&(n<=30))

{

text(oitava[int(3)],140,100);

}

else if(n>30)

{

text(oitava[int(4)],140,100);

}
```

```
textSize(200);  
fill(255,0,0);  
text(palavra[int(n-3)],115,340);  
println(palavra[int(n-3)]);  
}  
porta.clear();  
}  
}
```