



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA – CAMPUS I
COLEGIADO DE CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

**Proposta de Sequência Didática Baseada nos Três
Momentos Pedagógicos para o Ensino de Acústica:
Uma abordagem epistemometodológica a partir do
berimbau de barriga.**

por

JEAN VINICIUS DE FREITAS DA SILVA

Salvador - Ba
2025



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA – CAMPUS I
COLEGIADO DE CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

JEAN VINICIUS DE FREITAS DA SILVA

Proposta de Sequência Didática Baseada nos Três Momentos Pedagógicos para o Ensino de Acústica: Uma abordagem epistemometodológica a partir do berimbau de barriga.

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Curso de Licenciatura em Física do Departamento de Ciências Exatas e da Terra – Campus I, da Universidade do Estado da Bahia como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Oliveira de Jesus (UNEB - DCET-I).

Salvador - Ba
2025

Dedico este trabalho aos meus pais, Valdelice (in memoriam) e Gilmar, meus avós maternos Maria Isabel e João (in memoriam), e paternos, Berenice e Urbano (in memoriam), pela coragem, dignidade, força de vontade, curiosidade e tudo mais que herdei de vocês.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus, pela vida que tenho.

Aos meus pais, Valdelice (in memoriam) e Gilmar, por todo amor, cuidado, educação, confiança e valores que me foram depositados ao longo de minha vida.

Aos meus irmãos Gleise e Talisson, por todo apoio e incentivo nos momentos difíceis.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. José Carlos Oliveira de Jesus (Zé Carlos), pelos conselhos acadêmicos e de vida.

Aos meus amigos, pela lealdade e companheirismo.

Aos meus colegas de curso e profissão, Augusto Gasch, Levi Cardozo, Luana Lisboa, Osmar Vieira, Thiago Luiz Lopes, pelo companheirismo e apoio ao longo dessa trajetória.

A Mirian Capistrano, minha amiga e Diretora de Cultura, pela dedicação à cultura sebastianense e a arte, que transformam vidas.

Ao Mestre Antônio França Bispo (Dois de Ouro), baluarte da capoeira sebastianense, por todos os anos de luta e resistência em nome de nossa cultura.

Ao Contramestre Anderson Luiz de Jesus Santos (Zumbi) e o professor Eduardo Ferreira Braga (Nikito), pela disponibilidade e todo suporte fornecido. Continuem disseminando a capoeiragem pelo mundo.

A todas as professoras e professores, que tive o enorme prazer de ter em minha vida, dos quais sem o comprometimento, eu não alcançaria minhas metas.

A minha amada companheira, Luana Lopes, da qual a minha vida não seria nada sem a existência.

...

“Não se pode esquecer do berimbau. Berimbau é o primitivo mestre. Ensina pelo som. Dá vibração e ginga ao corpo da gente...”

Mestre Pastinha

RESUMO

Esta monografia apresenta uma proposta de sequência didática para o ensino de acústica no Ensino Médio, utilizando o berimbau de barriga como objeto de estudo. A pesquisa é motivada pela necessidade de um ensino de Física contextualizado e culturalmente relevante, que valorize os saberes locais e atenda às diretrizes da Lei 10.639/2003, promovendo uma aprendizagem dialógica e transformando a curiosidade ingênua em curiosidade epistemológica. A metodologia adotada é de natureza qualitativa e exploratória, com abordagem bibliográfica. O Capítulo 2 aprofunda os conceitos de ondulatória e acústica, como ondas sonoras, velocidade do som, altura, intensidade, timbre, reflexão, ressonância e ondas estacionárias, demonstrando o berimbau como um sistema físico complexo e ideal para a exploração desses conceitos. O Capítulo 3 explora o referencial didático-pedagógico dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov, a Alfabetização Científica, a relação Ciência-Tecnologia-Sociedade e o diálogo com as ideias de Paulo Freire e Lev Vygotsky, fornecendo a base para uma prática pedagógica que valoriza o conhecimento prévio e o contexto cultural do aluno. Com base nesses referenciais, o Capítulo 4 detalha a sequência didática "O Berimbau de Barriga no Ensino de Acústica", estruturada em cinco aulas que seguem os 3MP. As aulas abordam desde a problematização inicial e levantamento de conhecimentos prévios até a organização do conhecimento em ondulatória e acústica, e a aplicação dos conceitos em novas situações, incluindo a análise comparativa com outros instrumentos e a reflexão sobre a relação ciência-cultura. Os métodos de avaliação propostos visam um acompanhamento contínuo e formativo do aprendiz. Os resultados esperados incluem a construção de um conhecimento significativo em acústica, a valorização da cultura afro-brasileira no currículo escolar, o desenvolvimento do pensamento crítico e investigativo, e a promoção de uma aprendizagem mais engajadora e inclusiva. Conclui-se que a integração da cultura afro-brasileira no ensino de Física, por meio do berimbau, oferece um caminho para uma educação científica rigorosa, contextualizada e libertária, contribuindo para a formação de cidadãos mais conscientes e engajados com a ciência e a sociedade.

Palavras-chave: Acústica. Berimbau de Barriga. Ensino de Física. Três Momentos Pedagógicos. Cultura Afro-Brasileira.

ABSTRACT

This monograph presents a proposal for a didactic sequence for teaching acoustics in high school, using the berimbau de barriga as the object of study. The research is motivated by the need for contextualized and culturally relevant Physics education that values local knowledge and complies with the guidelines of Law 10.639/2003, promoting dialogical learning and transforming naive curiosity into epistemological curiosity. The adopted methodology is qualitative and exploratory, with a bibliographic approach. Chapter 2 delves into concepts of wave motion and acoustics, such as sound waves, speed of sound, pitch, intensity, timbre, reflection, resonance, and standing waves, demonstrating the berimbau as a complex physical system ideal for exploring these concepts. Chapter 3 examines the didactic-pedagogical framework of Delizoicov's Three Pedagogical Moments, Scientific Literacy, the Science-Technology-Society relationship, and the dialogue with the ideas of Paulo Freire and Lev Vygotsky, providing the foundation for a pedagogical practice that values students' prior knowledge and cultural context. Based on these references, Chapter 4 details the didactic sequence "The Berimbau de Barriga in the Teaching of Acoustics," structured in five lessons that follow the 3MP. The lessons cover initial problematization and elicitation of prior knowledge to the organization of knowledge in wave phenomena and acoustics, and the application of concepts in new situations, including comparative analysis with other instruments and reflection on the science-culture relationship. The proposed evaluation methods aim for continuous and formative monitoring of learning. Expected results include the construction of meaningful knowledge in acoustics, the valorization of Afro-Brazilian culture in the school curriculum, the development of critical and investigative thinking, and the promotion of more engaging and inclusive learning. It is concluded that integrating Afro-Brazilian culture into Physics teaching through the berimbau offers a path to rigorous, contextualized, and liberating scientific education, contributing to the formation of citizens more aware and engaged with science and society.

Keywords: Acoustics; Berimbau de Barriga. Physics Teaching. Three Pedagogical Moments. Afro-Brazilian Culture.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Cenários e razões da pesquisa	11
1.2 Questão norteadora da pesquisa	12
1.3 Objetivos da pesquisa	12
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
1.4 Metodologia da pesquisa	13
1.5 Resultados esperados	15
1.6 Estrutura da Monografia	16
2 Fundamentação Teórica de Física: ondulatória e acústica, aplicados ao Berimbau de Barriga.	18
2.1 O BERIMBAU E A CAPOEIRA	21
2.1.1 Investigando a origem do Berimbau de Barriga	29
2.2 REFERENCIAL TEÓRICO DE FÍSICA: ELEMENTOS DE ONDULATÓRIA E ACÚSTICA.	40
2.2.1 Princípios de ondulatória	40
2.2.2 Ondas sonoras e elementos de acústica do berimbau de barriga	49
2.2.3 Acústica do Berimbau	67
3 Referencial didático-pedagógico: os três momentos pedagógicos de delizoicov. 73	
3.1 Diálogo Freire-Vygotsky	74
3.2 Alfabetização Científica e Relações Ciência-Tecnologia-Sociedade	81
3.3 Fundamentos e Estrutura dos 3MP	85
3.4 Implementação, Desafios e Práticas com os 3MP	95
4 Proposta de Sequência Didática: O Berimbau de Barriga no Ensino de Acústica 100	
4.1 Estrutura Geral da Sequência Didática	101
4.1.1 Estratégias Didático-Pedagógicas	102
4.2 Problematização Inicial (Aula 1)	103
4.3 Organização do Conhecimento (Aulas 2, 3 e 4)	105
4.4 Aplicação do Conhecimento (Aulas 4 e 5)	108
4.5 Métodos de Avaliação	110
4.6 Planos de Aula	111
4.6.1 Aula 1	113
4.6.2 Aula 2	116
4.6.3 Aula 3	119
4.6.4 Aula 4	123
4.6.5 Aula 5	125
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
REFERÊNCIAS	131
APÊNDICE A – PLANO DE ENSINO	136

1 INTRODUÇÃO

Minha trajetória como praticante e admirador da capoeira e de outras atividades culturais, influenciado por figuras importantes da cultura em São Sebastião do Passé-BA, como Antônio França Bispo, o Mestre Dois de Ouro da Associação de Capoeira Palmares União, consolidou o entendimento de que valorizar a identidade de um povo é um ato pedagógico fundamental. Essa visão converge para a convicção na importância de um ensino de física contextualizado e culturalmente relevante, aprofundada diante de uma percepção comum, observada no diálogo com colegas capoeiristas em idade escolar: a física é frequentemente vista como um obstáculo, um compilado de fórmulas abstratas e desconectadas da realidade vivida. Diante disso, esta pesquisa nasce como uma recusa a essa visão, guiada pela necessidade de valorizar saberes locais, atender à Lei 10.639/2003 (BRASIL, 2003) e transformar a curiosidade dos estudantes do ensino médio em conhecimento epistemológico sobre a acústica do berimbau de barriga. Esse conjunto de objetivos orientou a busca por um referencial didático-pedagógico de abordagem dialógica.

1.1 CENÁRIOS E RAZÕES DA PESQUISA

A presente pesquisa surge de uma profunda convicção na relevância de um Ensino de Física que dialogue com a realidade e a cultura dos estudantes. Minha trajetória pessoal como praticante e admirador da capoeira, minhas raízes em São Sebastião do Passé - BA, e a dinâmica étnico-cultural do Recôncavo Baiano, me levaram a questionar como o conhecimento científico pode ser abordado de forma mais significativa. A capoeira, com sua complexidade cultural e musical, e o berimbau, em particular, se apresentam como um terreno fértil para essa conexão.

Rufino (2017) provoca que "Um estudo que venha a se debruçar sobre as formas de educação e as possibilidades a partir delas deverá considerar que os fenômenos, processos e práticas educativas se tecem em cotidianos permeados pelos efeitos do racismo/colonialismo."

Nesse contexto, a disciplina de Física, frequentemente percebida como abstrata e distante do cotidiano dos alunos, encontra no berimbau de barriga um objeto de estudo concreto e culturalmente relevante. A análise de seus princípios

acústicos – como oscilações, ondas estacionárias, ressonância e harmônicos – oferece uma oportunidade ímpar para contextualizar conceitos físicos complexos.

A educação, em sua essência plural e dialógica, deve transcender modelos que perpetuam a colonialidade do saber, buscando a valorização de múltiplas presenças e conhecimentos (RUFINO, 2019). A Lei 10.639/2003 (BRASIL, 2003), ao tornar obrigatório o ensino de história e cultura afro-brasileira, emerge como um marco fundamental para iniciar um processo de descolonização curricular, promovendo uma educação intercultural que combata as injustiças sociais e fomente uma prática de liberdade no ambiente escola.

Diante disso, esta pesquisa se justifica pela busca em transformar o potencial empírico do berimbau em uma ferramenta pedagógica eficaz e replicável. Propõe-se a apresentação de uma proposta de sequência didática que utilize o berimbau de barriga como contexto problematizador para o ensino de acústica no Ensino Médio. A intenção não é apenas desenvolver uma ferramenta de ensino, mas também incentivar a análise do potencial dessa abordagem para promover uma aprendizagem mais contextualizada, que estimule a curiosidade ingênua dos estudantes e a transforme em curiosidade epistemológica, conectando o saber popular ao conhecimento científico de forma dialógica e culturalmente fundamentada.

1.2 QUESTÃO NORTEADORA DA PESQUISA

Diante do cenário apresentado e da relevância de integrar o conhecimento científico com o patrimônio cultural, a questão norteadora que guia esta pesquisa é:

Como uma proposta de sequência didática, centrada no berimbau de barriga, pode contribuir para o ensino de acústica no Ensino Médio, promovendo uma aprendizagem dialógica e culturalmente contextualizada, e estimulando a transformação da curiosidade ingênua em curiosidade epistemológica?

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

Esta pesquisa, ao propor uma sequência didática para o ensino de acústica culturalmente contextualizado, com berimbau de barriga como elemento problematizador, estabelece objetivos claros que guiam o desenvolvimento e a

fundamentação da proposta. Estes objetivos refletem o compromisso com uma educação antirracista, culturalmente contextualizada e emancipatória.

1.3.1 Objetivo Geral

Elaborar uma proposta de sequência didática para o ensino de acústica no Ensino Médio, utilizando o berimbau de barriga como contexto epistemológico, a fim de promover uma aprendizagem baseada no diálogo e a valorização da cultura afro-brasileira.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, a pesquisa se propõe a:

Analisar os fundamentos teóricos da ondulatória e acústica aplicáveis ao funcionamento do berimbau de barriga, identificando os conceitos físicos essenciais a serem abordados na sequência didática.

Investigar os princípios dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov, assim como as contribuições da Alfabetização Científica e das Relações Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), para fundamentar a estrutura e as atividades da proposta de sequência didática.

Desenvolver as etapas da sequência didática (Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento), detalhando as atividades, os recursos didáticos e as estratégias de avaliação pertencentes ao ensino de física com o contexto cultural do berimbau.

Justificar a relevância da proposta de sequência didática para o ensino de Física no Ensino Médio, destacando sua contribuição para a contextualização do conhecimento, a valorização da cultura afro-brasileira e o estímulo à curiosidade epistemológica dos estudantes.

1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza qualitativa e exploratória, com abordagem fundamentalmente bibliográfica. O objetivo central não

é a aplicação de uma sequência didática em sala de aula, mas sim a construção e a fundamentação de uma sugestão de sequência didática que integre o ensino de acústica com o contexto cultural do berimbau de barriga. Portanto, a metodologia adotada envolve as seguintes etapas:

Revisão Bibliográfica Aprofundada: Será realizada uma análise sistemática da literatura pertinente, abrangendo: Estudos sobre o ensino de Física, com ênfase em metodologias de contextualização e abordagens que valorizem a cultura popular; Pesquisas sobre a acústica do berimbau de barriga e seu potencial como objeto de estudo em Física; Trabalhos que abordem os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti, compreendendo seus fundamentos teóricos e aplicações no ensino de ciências; Documentos oficiais e legislação educacional brasileira, como a Lei 10.639/2003 (BRASIL, 2003), que fundamentam a inclusão da cultura afro-brasileira no currículo.

Análise e Síntese dos Referenciais Teóricos: Com base na revisão bibliográfica, será realizada uma análise crítica dos referenciais teóricos de Física (Ondulatória e Acústica) e Didático-Pedagógicos (Os Três Momentos Pedagógicos, Alfabetização Científica, Relações Ciência-Tecnologia-Sociedade e o diálogo Freire-Vygotsky). O objetivo é identificar os conceitos e princípios que sustentarão a proposta da sequência didática.

Elaboração da Proposta de Sequência Didática: A partir da síntese dos referenciais teóricos e da questão norteadora da pesquisa, será desenvolvida a proposta de sequência didática. Esta etapa envolverá a estruturação das atividades, a definição dos objetivos de aprendizagem, a seleção de recursos didáticos e a descrição das etapas de Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento, conforme os preceitos dos 3MP. É fundamental ressaltar, contudo, que o termo "Aplicação do Conhecimento" é aqui compreendido sob uma ótica freireana, distanciando-se de uma concepção meramente tecnicista. Não se trata de um simples exercício de uso de fórmulas, mas de um momento de práxis, no qual o conhecimento organizado permite uma releitura crítica e transformadora da realidade, que é o foco desta etapa final (SANTOS, 2021).

Discussão e Justificativa da Proposta: A sequência didática proposta será detalhadamente discutida e justificada, evidenciando como ela atende aos objetivos da pesquisa ao promover a contextualização do ensino de Física, valorizar a cultura afro-brasileira e estimular a curiosidade epistemológica dos estudantes. Para isso,

serão apresentados os argumentos que sustentam a viabilidade e a relevância da proposta para o Ensino Médio, demonstrando como a articulação entre os referenciais teóricos e a prática pedagógica resulta em uma abordagem robusta e fundamentada.

1.5 RESULTADOS ESPERADOS

Com a presente pesquisa, que se propõe a elaborar uma proposta de sequência didática centrada no berimbau de barriga para o ensino de acústica no Ensino Médio, espera-se alcançar os seguintes resultados:

Uma proposta de sequência didática fundamentada: O principal resultado esperado é a construção de uma sequência didática detalhada e teoricamente embasada, que utilize o berimbau de barriga como um elemento epistemometodológico para o ensino de conceitos de acústica. Esta proposta deverá apresentar clareza em seus objetivos, etapas (Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento, conforme os 3MP), recursos didáticos sugeridos e estratégias de avaliação.

Contribuição para a contextualização do ensino de Física: Espera-se que a proposta desenvolvida demonstre a viabilidade e a eficácia de se utilizar elementos da cultura afro-brasileira, como o berimbau e a capoeira, para tornar o ensino de Física mais relevante e significativo para os estudantes. Isso pode auxiliar na superação da percepção de que a Física é uma disciplina abstrata e desconectada da realidade dos alunos.

Fomento à valorização da cultura afro-brasileira no currículo: Ao integrar o berimbau de barriga e a capoeira no ensino de Física, a pesquisa busca contribuir para o cumprimento da Lei 10.639/2003 (BRASIL, 2003), promovendo a valorização da história e cultura afro-brasileira e africana. Essa prática pedagógica é uma ferramenta essencial na construção de um ambiente escolar ativamente antirracista, uma necessidade ainda mais evidente diante dos avanços legais como a Lei 14.532/2023 (BRASIL, 2023), que equipara a injúria racial ao crime de racismo. Espera-se que a proposta sirva como um exemplo de como essa integração pode ser feita de forma interdisciplinar e dialógica.

Estímulo à curiosidade epistemológica: Acredita-se que a abordagem proposta, ao partir de um elemento culturalmente familiar, como o berimbau, possa

despertar a curiosidade dos estudantes e transformá-la em uma curiosidade mais aprofundada e científica, incentivando-os a buscar explicações para os fenômenos físicos observados no instrumento.

Base para futuras pesquisas e aplicações: A proposta de sequência didática elaborada poderá servir como um ponto de partida para futuras investigações, incluindo a sua aplicação e validação em sala de aula, bem como a adaptação para outros contextos culturais e disciplinas. Além disso, pode inspirar o desenvolvimento de outros materiais didáticos que explorem a interação entre ciência e cultura.

1.6 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Esta monografia está organizada em capítulos que buscam apresentar de forma clara e coerente a proposta de sequência didática e seus fundamentos. A estrutura escolhida procura guiar o leitor desde a contextualização do problema até a apresentação detalhada da proposta e suas possíveis implicações. Os capítulos estão distribuídos da seguinte forma:

Capítulo 1: Introdução: Apresenta o tema da pesquisa, sua relevância e os cenários que a justificam. Aborda a relação do pesquisador com a capoeira e o berimbau, a importância da contextualização no ensino de Física e a conexão com a Lei 10.639/2003 e a Lei de Diretrizes e Bases. Define a questão norteadora da pesquisa, a metodologia empregada e os resultados esperados, além de detalhar a estrutura da monografia.

Capítulo 2: Fundamentação Teórica de Física: ondulatória e acústica, aplicados ao berimbau de barriga: Este capítulo é dedicado à fundamentação teórica em Física, essencial para a compreensão dos fenômenos acústicos do berimbau. Serão abordados os princípios da ondulatória, como a equação de ondas, período, frequência, amplitude, princípio de superposição, ressonância e modos normais, com ênfase nas condições de contorno. Em seguida, serão exploradas as ondas sonoras e os elementos específicos da acústica do berimbau de barriga, preparando o terreno para a proposta didática.

Capítulo 3: Referencial Didático-Pedagógico: Os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov: Neste capítulo, será aprofundado o referencial didático-pedagógico que sustenta a proposta. Serão apresentados os fundamentos e a estrutura dos Três

Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov, discutindo sua utilização no ensino de ciências. Abordando também a Alfabetização Científica e as Relações Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), bem como o diálogo entre as ideias de Paulo Freire (1983; 1987) e Lev Vygotsky (2001; 2005), que enriquecem a perspectiva pedagógica da pesquisa. Por fim, serão discutidos aspectos da implementação, desafios e práticas com os 3MP.

Capítulo 4: Proposta de Sequência Didática: O berimbau de barriga no Ensino de Acústica: Este é o capítulo central da pesquisa, onde será apresentada a proposta de sequência didática propriamente dita. Serão detalhadas as etapas da sequência, as atividades propostas, os recursos didáticos a serem utilizados e a forma como os conceitos de acústica serão abordados por meio do berimbau de barriga, seguindo a estrutura dos Três Momentos Pedagógicos. Serão incluídos exemplos de atividades e discussões sobre como a proposta pode ser adaptada e implementada em diferentes contextos de Ensino Médio.

Capítulo 5: Considerações Finais: Neste capítulo, serão retomados os principais pontos da pesquisa, discutindo os resultados alcançados e as contribuições da proposta de sequência didática. Serão discutidas também as implicações da pesquisa para o ensino de Física e para a valorização da cultura afro-brasileira, além de apontar limitações do estudo e sugerir caminhos para futuras investigações e aplicações.

2 Fundamentação Teórica de Física: ondulatória e acústica, aplicados ao Berimbau de Barriga.

O Recôncavo Baiano surge na história brasileira como um território de densidade cultural extraordinária, reconhecido como epicentro para a preservação e desenvolvimento de diversas manifestações de matriz africana (PALHARES, 2020). Neste contexto, como destaca Palhares (2020), a região constitui "o berço da capoeiragem, agregando os fundamentos codificados no berimbau e nos cantos". A capoeira, elevada pela UNESCO (2014) à condição de Patrimônio Cultural Imaterial da Humanidade, transcende classificações simplistas, configurando-se como uma complexa práxis afro-brasileira (PALHARES, 2020). Ela conecta dimensões lúdicas, marciais, musicais e filosóficas, tendo se firmado historicamente como um potente veículo de resistência, sociabilidade e preservação cultural para populações africanas e afrodescendentes (PALHARES, 2020). Indissociável desta prática está o berimbau, um arco musical do qual a linhagem remonta a instrumentos centro-africanos (SHAFFER, 1977, p. 5; ASSUNÇÃO, 2005, p.40), e que assume um importante papel na condução ritualística e rítmica da roda (ASSUNÇÃO, 2005).

Abib expressa sobre o berimbau:

O berimbau, instrumento utilizado na antiguidade para conversar com os mortos, exerce função primordial no rito representado pela roda de capoeira angola, pois ele é o responsável por estabelecer essa conexão com o sagrado, e com a ancestralidade representada pelo tempo da escravidão, e antes ainda, por tempos remotos e longínquos que remetem à mãe África. (ABIB, 2004, p.69).



Figura 1: Berimbaus de Barriga.
Fonte: Eduardo “Nikito” Braga (2025) – Comunicação privada.

A produtiva obra de Kay Shaffer (1977), "O Berimbau-de-barriga e seus toques", permanece como uma das minhas referências fundamentais para a análise deste artefato cultural tão intrigante, ao lado das obras de José Luiz Cirqueira Falcão & Marcos Duarte de Oliveira (2021), Matthias Röhrig Assunção (2005), Pedro Rodolpho Jungers Abib (2004), Leandro Ribeiro Palhares (2017).

Contudo, como articular esta riqueza cultural com as demandas do ensino formal de ciências no Brasil? O ambiente educacional enfrenta desafios notáveis, principalmente no ensino de Física, disciplina que é frequentemente percebida pelos discentes como abstrata e desconectada de seu cotidiano (BRASIL, 2006 - PCN+ Ensino Médio). Ao mesmo tempo, a Lei 10.639/2003 (BRASIL, 2003) impõe a necessidade de integrar a história e cultura afro-brasileira e africana ao currículo,

exigindo abordagens pedagógicas que superem a mera transmissão de conteúdos e promovam uma real valorização e construção desses saberes (BRASIL, 2003). Neste cenário, a conexão entre o conhecimento científico e o patrimônio cultural local, como as práticas culturais do Recôncavo Baiano, apresenta-se como uma estratégia promissora. Estudos indicam o potencial de elementos como a capoeira e o berimbau para o desenvolvimento de propostas didáticas inovadoras (MELO, 2013), capazes de incentivar uma aprendizagem culturalmente contextualizada.

Através do olhar da Física, o berimbau de barriga se mostra como um sistema de notável interesse para o estudo da acústica. Sua estrutura simples guarda princípios físicos complexos. Como explorado por Kandus et al. (2006) e Y. H. L. Ribeiro (2008), o instrumento serve como modelo para a discussão de oscilações mecânicas e propagação de ondas. A vibração da corda tensionada permite investigarmos ondas estacionárias, a relação entre frequência, tensão, comprimento e densidade linear, a produção de harmônicos e oscilações acopladas (KANDUS et al., 2006; RIBEIRO, 2008). A manipulação do dobrão (ou pedra) e da cabaça pelo tocador demonstra de forma prática, como a alteração de parâmetros físicos (comprimento vibrante, condições de contorno da cavidade ressonante) impacta as características sonoras percebidas (altura, timbre, intensidade), exemplificando conceitos como ressonância e modulação (KANDUS et al., 2006).

Problematizo, então: como utilizar este potencial empírico do berimbau em uma ferramenta pedagógica eficaz e replicável?

Apesar do reconhecido valor cultural e do potencial físico do berimbau, percebe-se uma ausência na literatura especializada referente a propostas didáticas estruturadas que associem sua análise acústica a ferramentas tecnológicas acessíveis no contexto da educação básica. Diante disso, essa pesquisa propõe uma eventual sequência didática centrada no berimbau de barriga para o ensino de acústica.

Este capítulo se dedica a aprofundar os fundamentos teóricos da Física que regem a produção e propagação do som, com especial atenção aos fenômenos ondulatórios e acústicos. A compreensão de conceitos como ondas estacionárias, ressonância, frequência, amplitude e timbre é essencial para desvendar a complexidade sonora de qualquer instrumento musical, e o berimbau de barriga, apesar de sua aparente simplicidade, é um rico laboratório para a exploração desses princípios.

A acústica, ramo da física que estuda o som, suas propriedades e sua interação com o ambiente, oferece as ferramentas necessárias para analisar como as vibrações da corda do berimbau são transformadas em ondas sonoras audíveis, e como a cabaça atua como um ressonador, amplificando e moldando o som característico do instrumento. Ao investigar esses aspectos, é possível estabelecer uma ponte entre o conhecimento científico formal e a experiência sonora cotidiana.

Para contextualizar a aplicação desses conceitos físicos de forma significativa, é incontestável, primeiramente, mergulhar na rica história e cultura do instrumento. Assim, a próxima seção, intitulada de "O berimbau e a capoeira", abordará as origens e o papel cultural desse instrumento singular.

2.1 O BERIMBAU E A CAPOEIRA

Para dissertar sobre a história da capoeira, uma de minhas referências fundamentais é a rica obra de Matthias Röhrig Assunção (2005), intitulada de "Capoeira - The History of an Afro-Brazilian Martial Art". Nessa obra, o autor explora aspectos cruciais na história que influenciaram diretamente na prática da capoeiragem ao longo dos séculos. Discute também alguns mitos e fatos que permeiam os debates sobre as origens incertas da capoeira.

Reconstituir a história da capoeira, especialmente em seus primórdios, é uma tarefa complexa e repleta de discussões. O motivo disso está na incerteza sobre sua origem geográfica e temporal precisa. Como aponta Paulo Coêlho de Araújo (2005, p.32), há uma divisão fundamental entre pesquisadores que defendem uma origem genuinamente brasileira, especificamente na Bahia colonial (REGO, 1968; KUBIK, 1979; BRITO, 1983 apud ARAÚJO, 2005 p.32), e aqueles que teorizam que a capoeira, ou suas formas iniciais, foram trazidas da África por povos escravizados durante a diáspora africana (CASCUDO, 1974; CARNEIRO, 1970; MARINHO, 1980, apud ARAÚJO, 2005, p.32). A falta de documentação robusta e a crítica ao rigor científico de alguns estudos, como mencionado por Araújo (2005), contribuem para a persistência dessa controvérsia (ARAÚJO 2005).

Para entendermos o contexto em que essas teorias se inserem, é importante revisitarmos o cenário do Brasil Colônia. A partir do século XVI, com a intensificação da colonização portuguesa e a implementação da agroindústria açucareira, milhões

de africanos foram traficados para o Brasil como mão de obra escrava (TELLES, 2004; GENNARI, 2008). Vindos de diversas regiões e etnias (inicialmente predominando os de origem Bantu (Angola/Congo), e posteriormente grupos Sudaneses/Nagôs), esses indivíduos trouxeram consigo um vasto repertório cultural, o que inclui práticas corporais, musicais e rituais (PALHARES, 2020). É nessa junção cultural, marcada pela violência da escravidão e pela necessidade de resistência e afirmação identitária, que a capoeira teria começado a se formar (OLIVEIRA & LEAL, 2009, p.43).

A hipótese de uma origem africana sugere que práticas de luta, dança ou jogos corporais existentes em regiões como Angola - onde se encontra o N'golo ou "dança das zebras", frequentemente citado como possível antecessor - teriam sido adaptadas no Brasil. Por outro lado, a hipótese brasileira - defendida fortemente por intelectuais nacionalistas no final do século XIX e início do século XX, a fim de utilizá-la como símbolo nacional (ASSUNÇÃO, 2005 p.14-16) - argumenta que a capoeira é um fenômeno a parte, nascendo da experiência específica da escravidão no Brasil, talvez como forma de defesa disfarçada em dança, ou como treinamento para combate em quilombos e revoltas (IPHAN, 2007, p.11). Burlamaqui (1928, p.13), via a capoeira como uma "Gymnástica Puramente Nacional" desenvolvida por escravos fugidos como método de sobrevivência nas matas, combinando técnicas de luta contra animais e capitães do mato que os caçavam (BURLAMAQUI, 1928, p.13) *sic*. Waldeloir Rego (1968) questiona: "quando chegaram esses primeiros escravos? Vieram de Angola? Trouxeram de lá a capoeira, ou inventaram-na no Brasil?" (REGO, 1968 p.8) *sic*.

As primeiras representações iconográficas mais claras, como as de Rugendas (Figura 2) e Augustus Earle (Figura 3) no início do século XIX, mostram africanos e afrodescendentes em cenas de dança, luta ou jogo corporal, por vezes acompanhados por instrumentos que se assemelham ao atabaque (tambor), mas a interpretação exata dessas imagens como "capoeira" ainda é objeto de análise (ASSUNÇÃO, 2005; p.73-74; SHAFFER, 1977). Debret também fez representação de um homem negro tocador de berimbau, sem relacioná-lo ao jogo de capoeira. (ASSUNÇÃO, 2005, p.40; SHAFFER, 1977).

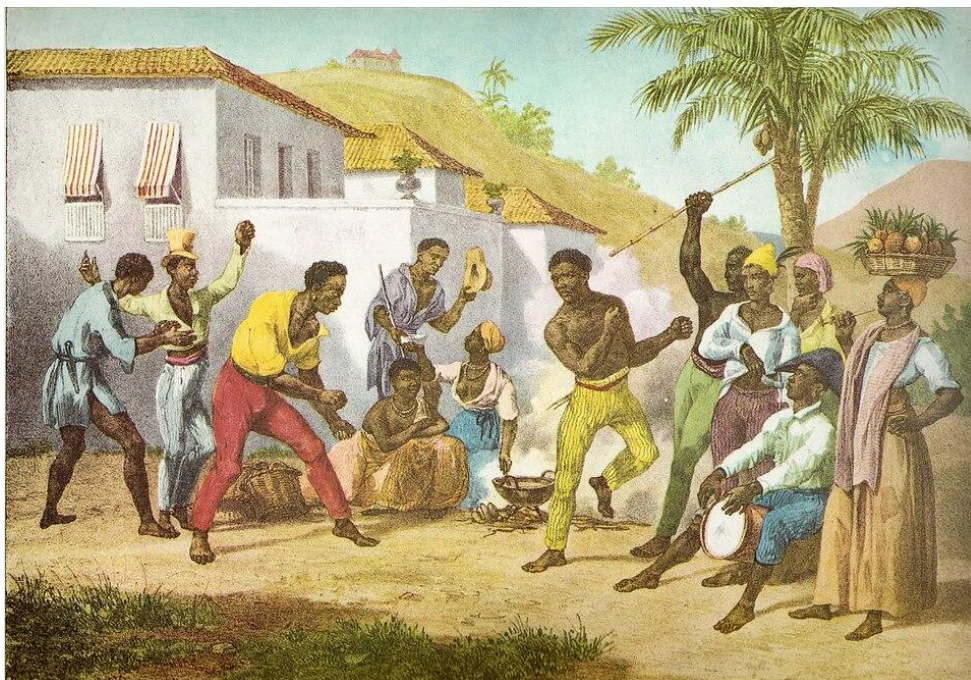


Figura 2 - "Jogar capoeira ou danse de la guerre"
(J.M.Rugendas, 1835)



Figura 3: "Negros lutando."
(Augustus Earle, 1824)

Independentemente das incertezas sobre as suas origens, foi durante o século XIX que a capoeira começou a ganhar forma mais definida e a se manifestar de forma mais visível nos registros históricos e culturais do Brasil. Esse período é crucial para

entendermos como a prática se desenvolveu, principalmente em centros urbanos e no contexto das transformações sociais e étnicas da época.

A chegada contínua de africanos escravizados, com destaque para os grupos de origem sudanesa (Nagôs/lorubás) a partir da Rota da Mina, somando às populações de origem Bantu já presentes, enriqueceu cenário cultural afro-brasileiro (MOURA, 1995 p.24 apud PALHARES, 2020). Essa interação cultural provavelmente influenciou as práticas corporais existentes, contribuindo significativamente para a evolução da capoeira. Palhares (2020) identifica o período entre aproximadamente 1850 e 1920 como o que ele define como a era da "Capoeira Ancestral", um momento chave de codificação dos saberes que viriam a caracterizar a capoeira como nós conhecemos:

[...] a Capoeira Ancestral foi (e ainda é) o fundamento das demais Capoeiras. Essa Capoeira desenvolvida entre os anos 1850 a 1930 foi a 'ciência' (no sentido de produção de conhecimento: um saber social e politicamente orientado; com uma episteme e métodos próprios e pertinentes ao seu contexto fundante; sabedoria) que possibilitou a existência estilos: Regional, Angola e Esportivo [...] (PALHARES, 2019, apud PALHARES, 2020).

Segundo o autor, foi nesse período que se estabeleceram elementos fundamentais como o comando do berimbau na roda, a estrutura dos cantos (corridos, ladainhas, chulas) e uma gestualidade específica, imbuída de significados éticos, coletivos e de resistência (PALHARES, 2020).

A capoeira se desenvolveu principalmente nos ambientes urbanos, em cidades portuárias como Salvador, Rio de Janeiro e Recife (IPHAN, 2007 p.12). Nesses locais, africanos e afrodescendentes, escravizados ou libertos, encontravam espaços para sociabilidade, expressão cultural e, também, para o confronto e a resistência (SOUZA, 2023). No Rio de Janeiro, capital do Império e depois da República inicial, a capoeira ganhou fama através das maltas. Essas eram associações ou bandos de capoeiristas, normalmente organizados por território ou afinidade, que dominavam certas áreas da cidade (ASSUNÇÃO, 2005 p.84). As maltas não somente praticavam a capoeira como luta e jogo, mas também se envolviam em disputas de território, conflitos com a polícia e até mesmo na política local, sendo muitas vezes contratadas por políticos para atuar como capangas eleitorais ou grupos de intimidação (SOARES, 1998, p. 44, apud

LIMA, 2014; IPHAN 2007, p.15). Esses destaques em atuações das maltas no Rio de Janeiro contribuíram de maneira significativa para a imagem duvidosa da capoeira, associada tanto à habilidade e valentia de seus praticantes, quanto à desordem e criminalidade, e coincidiu com um momento de profundas transformações sociais e políticas, marcadas pela Abolição da Escravatura (1888) e pela Proclamação da República (1889), o que levaria à intensa repressão no final do século XIX. Nesse contexto, a capoeira, intimamente ligada à população negra e mestiça se tornou um alvo prioritário das políticas de controle social e higienização urbana (ASSUNÇÃO, 2005, p.89-90).

A repressão policial intensificou radicalmente, principalmente no Rio de Janeiro. Assim Sampaio Ferraz, primeiro chefe de polícia do regime republicano, se tornou símbolo dessa perseguição. Conhecido como "Cavanhaque de Aço" (LIMA, 2014), Ferraz executou uma forte campanha sistemática contra os capoeiristas, resultando em centenas de prisões entre 1889 e 1890 (IPHAN, 2007). Sua estratégia incluiu não apenas detenção, mas também a deportação dos líderes das maltas e capoeiristas mais experientes para locais distantes como a Ilha de Fernando de Noronha, a fim de desarticular as organizações e romper com a transmissão cultural da capoeira na capital (SOARES, 1999, p. 145, 329, via LIMA, 2014).

Essa repressão policial que já existia, foi legalmente consolidada com a promulgação do Código Penal da República em 11 de outubro de 1890 (BRASIL, 1890). Pela primeira vez, a capoeira foi oficialmente classificada como crime. O Capítulo XIII, intitulado "Dos Vadios e Capoeiras", estabelecia no Artigo 402 penas de prisão celular de dois a seis meses para quem praticasse "exercício de agilidade e destreza corporal conhecida pela denominação capoeiragem" em locais públicos, andasse em correrias ou provocasse tumultos (BRASIL, 1890).

O parágrafo único considerava agravante pertencer a bando ou malta, impondo pena em dobro aos chefes. A reincidência (Art. 403) podia levar a penas mais longas, de um a três anos, em colônias penais, e estrangeiros seriam deportados após cumprirem a pena. O Artigo 404 previa a acumulação de penas caso outros crimes (homicídio, lesão corporal etc.) fossem cometidos associados a prática (SOARES, 1998, p. 338, apud LIMA, 2014; BRASIL, 1890).

A população negra, que havia recentemente saído da escravidão, era vista com desconfiança e associada ao atraso e a inferioridade. A repressão à capoeira era também uma tentativa de controlar ou até mesmo extinguir manifestações culturais

afro-brasileiras, com o objetivo de impor um modelo de sociedade "branqueado" e "ordeiro" (REIS, 2000, apud LIMA, 2014).

Apesar da intensa repressão legal e policial, a capoeira demonstrou uma incrível capacidade de resistência. A prática não foi extinta, mas se adaptou, muitas vezes recuando para espaços mais privados ou se disfarçando em outras manifestações culturais. A memória dos mestres, a oralidade e a própria ritualidade da roda permitiram que os saberes e técnicas sobrevivessem de forma clandestina (ABIB, 2004). Contraditoriamente, foi também nesse período de tão forte repressão que surgiram os primeiros movimentos intelectuais e nacionalistas que buscavam "reabilitar" a capoeira, vendo nela um potencial símbolo nacional, ainda que buscando desvinculá-la de suas raízes populares e negras. Segundo Assunção, a ginástica era vista pelos militares como uma forma de melhorar a aptidão masculina e sua capacidade marcial. A vitória do Japão contra a Rússia em 1905 despertou o interesse do ocidente nas artes marciais japonesas e incentivou as nações a busca de sua ginástica nacional (ASSUNÇÃO, 2005, p.14-15). A partir de 1906 muitos autores nacionalistas passaram a discutir sobre a capoeira na posição de ginástica nacional, alegando que esta era uma "criança mestiça", na tentativa de omitir a contribuição negra à prática (ASSUNÇÃO, 2005, p.15).

Em Salvador, considerada por muitos o berço da capoeira como a conhecemos hoje (PALHARES, 2020), a prática se desenvolveu de forma mais incorporada aos rituais e festividades populares embora também com episódios de conflito e repressão. A presença da cultura iorubá e a forte tradição do Candomblé na Bahia podem ter influenciado a dimensão ritualística e musical da capoeira local (ASSUNÇÃO, 2005, p.113). Foi nesse contexto que duas figuras icônicas, Mestre Bimba e Mestre Pastinha, desempenharam papéis fundamentais na estruturação e validação de duas vertentes distintas, que se tornaram as principais referências da capoeira moderna: a Regional e a Angola.

Manoel dos Reis Machado, o famigerado Mestre Bimba, foi o idealizador da Capoeira Regional. Preocupado com a perda de eficácia marcial da capoeira de sua época e buscando distanciá-la da imagem de marginalidade, Bimba desenvolveu, a partir da década de 1930, um novo método que ele batizou de "Luta Regional Baiana". Sua abordagem foi marcada pela inovação. Ele incorporou golpes de outras lutas (como o batuque, antiga luta de desequilíbrio da qual seu pai era campeão), criou um método de ensino progressivo baseado em sequências de ataque e defesa (a famosa

"Sequência de Bimba"), introduziu um sistema de graduação com lenços coloridos (formatura) e destacou a preparação física e a disciplina. Um marco crucial em sua trajetória foi a obtenção do alvará de funcionamento para sua academia, o Centro de Cultura Física Regional, em 1937, o que representou um passo fundamental para a legalização e aceitação social da capoeira. A Capoeira Regional de Bimba atraiu estudantes universitários, membros das classes médias e autoridades, o que contribuiu para a mudança da percepção pública sobre a prática (CAMPOS, 2009, p.14; CAMPOS, 2001, p.107).

Em contrapartida, Vicente Ferreira Pastinha, o Mestre Pastinha, se dedicou a preservar e organizar a linhagem da capoeira considerada mais tradicional, que ele passou a chamar de Capoeira Angola. Em 1941, ele fundou o Centro Esportivo de Capoeira Angola (CECA), que se tornou um importante polo de resistência cultural. Pastinha priorizava a manutenção dos fundamentos ancestrais da capoeira, valorizando a ludicidade, a malícia (mandinga), o jogo mais próximo ao chão (jogo de dentro), a importância da música, com a orquestra completa liderada pelo berimbau Gunga, os rituais da roda e a dimensão filosófica da prática. Sua atuação foi fundamental para garantir que os aspectos mais ritualísticos e lúdicos da capoeira não se perdessem no processo de modernização e esportivização (ASSUNÇÃO, 2005,, p.151-152; LIMA, 2014).

As diferenças entre a Capoeira Regional e a Capoeira Angola, não parecem representar uma divisão absoluta, mas sim o desenvolvimento de duas filosofias e abordagens diferentes dentro do universo da capoeira.

A partir da segunda metade do século XX, a capoeira passou a alcançar novos horizontes. Mestres e praticantes, especialmente naturais da Bahia, migraram para outras regiões do Brasil, levando consigo seus conhecimentos e fundando novos grupos e escolas. A capoeira também começou a adentrar em espaços institucionais, como universidades e escolas, seja como atividade extracurricular, seja como conteúdo da disciplina de Educação Física, impulsionada por figuras como Mestre Senna, Mestre Aristides e Mestre Xaréu (Hélio Campos) (LIMA, 2014).

A partir dos anos 1970, iniciou-se um processo de internacionalização, com mestres brasileiros fundando núcleos de ensino na América do Norte, Europa e outras partes do mundo, transformando assim a capoeira em um fenômeno global (ASSUNÇÃO, 2005, p.189).

Esse processo de expansão e legitimação social abriu caminho para o reconhecimento oficial. No Brasil, um marco fundamental ocorreu em 2008, quando o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) após a publicação do Dossiê “INVENTÁRIO PARA REGISTRO E SALVAGUARDA DA CAPOEIRA COMO PATRIMÔNIO CULTURAL DO BRASIL” (2007) registrou dois bens culturais associados à capoeira como Patrimônio Cultural do Brasil: a Roda de Capoeira e o Ofício dos Mestres de Capoeira (IPHAN, 2007, 2008). O registro da Roda reconheceu a complexidade desse espaço social onde se expressam simultaneamente a musicalidade, a corporalidade, o jogo, o ritual e a sociabilidade. O registro do Ofício dos Mestres valorizou os saberes tradicionais transmitidos oralmente e corporalmente, essenciais para a continuidade da prática. (IPHAN, 2007).

O reconhecimento ultrapassou as fronteiras nacionais em 2014, quando a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) adicionou a Roda de Capoeira na Lista Representativa do Patrimônio Cultural Imaterial da Humanidade. Essa aprovação internacional destacou o valor universal da capoeira como expressão cultural que promove o respeito mútuo e o diálogo intercultural, além de sua importância histórica como símbolo de resistência à opressão (UNESCO, 2014).

Percorrida a complexa trajetória da capoeira, desde suas raízes contestadas até seu reconhecimento como patrimônio cultural, inevitavelmente surge a figura que dita o ritmo e a energia da roda: o berimbau de barriga. Embora a capoeira possa existir sem ele em algumas manifestações históricas, é inegável que o arco musical se tornou seu principal símbolo sonoro e visual, um maestro que dita o jogo e conecta os participantes a uma ancestralidade musical. Em decorrência disso, compreender a capoeira exige um olhar atento à história particular deste instrumento ímpar. Portanto, doravante, aprofundaremos a investigação sobre as origens, a evolução e as transformações do próprio berimbau, buscando desvendar como este simples arco se tornou um ícone tão poderoso da cultura afro-brasileira.

2.1.1 Investigando a origem do Berimbau de Barriga

O berimbau de barriga, com sua anatomia incomum e sons encantadores, transcende a definição de um mero instrumento musical. Ele é a voz ancestral que comanda a roda, o ícone máximo da capoeira, reconhecido mundialmente como símbolo de nossa cultura. A gênese por trás desse instrumento, está profundamente enraizada na história do arco musical, um dos instrumentos mais antigos e difundidos da humanidade. Como aponta Kay Shaffer (1977), os arcos musicais, em suas diversas formas, podem ser encontrados em culturas ancestrais por todo o mundo, com uma grande variedade no continente africano, especialmente na África Central e na região Sul (SHAFFER, 1977). A própria origem do arco musical é tema de debate entre etnomusicólogos, com teorias, como a de Balfour, que o considera um derivado do arco de caça, a teoria de Montandon, que o considera antecessor do mesmo, ou a de Sachs, que defende um desenvolvimento independente (BAINES, 1969, apud SHAFFER, 1977 p.37). Evidências arqueológicas, como as pinturas rupestres de Les Trois Frères na França, sugerem a existência do arco musical já em 15.000 a.C. (BAINES, 1969, apud SHAFFER, 1977 p.37).

Na África, a diversidade de arcos musicais é admirável. Existem desde arcos que utilizam o solo como ressonador, como descrito por Wachsman, até a "cítara de chão" encontrada na Bacia do Nilo-Congo, em Uganda (BAINES, 1969, apud SHAFFER, 1977). Porém, a forma que mais diretamente se relaciona ao berimbau de barriga brasileiro é o arco musical com uma cabaça acoplada como caixa de ressonância (SHAFFER, 1977; FALCÃO & OLIVEIRA, 2021). Este tipo de instrumento era, e em alguns lugares ainda é, comum em diversas regiões da África (FALCÃO & OLIVEIRA, 2021), especialmente entre os povos de origem Bantu, que representam uma parcela significativa dos africanos escravizados trazidos para o Brasil (MUKUNA, 1979).

Shaffer (1977) cita diversos relatos de viajantes e exploradores do século XIX que documentaram a presença de arcos musicais em Angola. Capelo e Ivens (1881, p.294) desenharam um instrumento similar ao berimbau entre os "bangales". Ladislau Batalha (1890, p.18) descreveu o humbo, um arco com cabaça tocado com uma palhinha, usando o peito ou o corpo como caixa sonora complementar. Henrique Augusto Dias de Carvalho (1890, p.370) detalhou o rucumbo (chamado violam pelos Luandas), descrevendo a forma de segurá-lo e tocá-lo com uma varinha, de maneira

muito semelhante ao berimbau moderno. José Redinha (s.d.) também desenhou um monocórdio chamado lucungo com cabaça ressonadora (SHAFFER, 1977). Shaffer também cita Luís da Câmara Cascudo (1967), que consultando Albano de Neves e Souza, registrou os nomes hungu ou m'borumbumba para o instrumento, que segundo ele ainda estava em uso em Angola (SHAFFER, 1977).

Os consistentes relatos históricos que associam o instrumento aos negros escravizados e seus descendentes no Brasil (Debret, Pohl, Koster, apud SHAFFER, 1977), somados à aparente ausência de arcos musicais entre os povos indígenas brasileiros no período pré-colonial, reforçam a tese de que o berimbau é um instrumento de origem africana, trazido e adaptado no contexto da diáspora e da escravidão (SHAFFER, 1977; FALCÃO & OLIVEIRA, 2021).

A trajetória do berimbau de barriga no Brasil é marcada por um processo contínuo de adaptações, transformações e mudanças de significado, chegando no instrumento icônico que conhecemos hoje. Os primeiros registros visuais e textuais do instrumento no Brasil datam do início do século XIX, fornecidos por viajantes europeus.

Jean-Baptiste Debret, em "Viagem Pitoresca e Histórica ao Brasil" (1834-1839), descreveu e desenhou um instrumento chamado urucungo. Sua descrição menciona "metade de uma cabaça aderente a um arco formado por uma varinha curva com um fio de latão", tocado com uma vareta. A menção ao "fio de latão" é importante pois indica o uso de corda metálica já naquela época, embora diferente do aço que se tornaria padrão posteriormente (DEBRET, 1940, apud SHAFFER, 1977). Outros viajantes, como Johann Emanuel Pohl (1832) e Henry Koster (1816), também descreveram instrumentos similares, geralmente associados a negros e suas práticas musicais e de sociais, por vezes em contextos de venda ambulante ou lazer (SHAFFER, 1977).

Uma transformação crucial na evolução do berimbau no Brasil, como defendido por Falcão & Oliveira (2021), ocorreu provavelmente no início do século XX com a adoção da corda de aço proveniente do corda de aço metálico retirado de pneus de automóveis. A popularização da indústria automobilística no país entre os anos de 1920 e 1939, tornou esse material mais acessível (FALCÃO & OLIVEIRA, 2021). Os praticantes perceberam que a corda de aço proporcionava uma sonoridade mais potente, rica em harmônicos, e maior durabilidade em comparação com as fibras

vegetais ou cordas mais maleáveis usados anteriormente. Essa inovação material gerou consequências diretas na técnica e na musicalidade.

A maior tensão e a riqueza harmônica da corda de aço tornaram necessário o uso de um objeto para pressionar a corda e alterar a altura do som. O dobrão (originalmente uma moeda de cobre de 40 réis, depois substituída por qualquer peça metálica ou pedra lisa) tornou-se um elemento essencial para explorar as diferentes notas e timbres do instrumento, permitindo uma maior complexidade melódica e rítmica (FALCÃO & OLIVEIRA, 2021; CARNEIRO, 1975, p.20).

Outro item importante que compõe o conjunto é o caxixi (Figura 4), um pequeno cesto de palha (vime) trançada e base feita da cabaça, com sementes secas ou contas em seu interior (REGO 1968, apud MUKUNA, 1979), originário da região do Congo-Angola, e funciona como um chocalho (MUKUNA, 1979 apud GALLO, 2012). Embora chocalhos acompanhem arcos musicais em algumas tradições africanas, como o mai misra que acompanha o malunga, (FALCÃO & OLIVEIRA, 2021), a formação específica do berimbau com o caxixi, tocados pela mesma mão que segura a baqueta, aparenta ser uma característica exclusiva, desenvolvida no Brasil, e ligada intimamente a prática da capoeira (FALCÃO & OLIVEIRA, 2021; GALLO, 2012 apud FALCÃO & OLIVEIRA, 2021).



Figura 4: Caxixi, Dobrão e Vareta

Assim, o berimbau de barriga brasileiro, com sua verga de madeira específica (frequentemente biriba), a cabaça como ressonador, a corda de aço, o dobrão e o caxixi (Figura 4), representa uma notável adaptação e desenvolvimento local a partir de suas matrizes africanas.

Atualmente, é impossível separar a imagem e a sonoridade do berimbau da prática da capoeira. No entanto, a centralidade do berimbau na capoeira é fruto de um processo histórico, e nem sempre essa conexão foi tão exclusiva.

As primeiras representações iconográficas que podemos associar à capoeira, como a gravura (Figura 2) "Jogar Capoeira ou Danse de la Guerre" de Johann Moritz Rugendas (baseada em observações nas primeiras décadas do século XIX), curiosamente, não mostram o berimbau. Em vez disso, um tambor (semelhante a um atabaque) aparece marcando o ritmo para os jogadores (RUGENDAS, 1954, *apud* SHAFFER, 1977; ASSUNÇÃO, 2005). Jean-Baptiste Debret, na mesma época, desenhou um tocador de urucungo (berimbau), sem conexão com cenas de luta ou dança (DEBRET, 1940; SHAFFER, 1977). Isso pode nos sugerir que, no início do século XIX, o berimbau era um instrumento presente na cultura afro-brasileira, mas sua associação com a capoeira talvez ainda não estivesse plenamente consolidada, ou pelo menos não era a única formação musical possível.



Figura 5: Joueur d'urucungo (Tocador de urucungo) (Debret, 1835) Fonte: DEBRET, Jean-Baptiste.

O período provável para a consolidação do berimbau como instrumento principal da capoeira aparenta ser a segunda metade do século XIX e o início do século XX, coincidindo com o que Palhares (2020) denomina de "Capoeira Ancestral". Foi nesse momento, especialmente na Bahia, que a estrutura da roda de capoeira, com seus rituais, cantos e a liderança musical do berimbau, parece ter se estabelecido (PALHARES, 2020). A evolução técnica do próprio instrumento, com a já citada adoção da corda de aço e do dobrão, que permitiu maior volume e variedade sonora (FALCÃO & OLIVEIRA, 2021), pode ter contribuído para sua posição de protagonista musical e sua capacidade de comandar o jogo.

Dentro da roda de capoeira, o berimbau assumiu funções cruciais que justificam sua centralidade. Ele não é um simples acompanhamento, mas o maestro da roda. Seus diferentes toques ditam o ritmo, a velocidade e o estilo do jogo que deve ser praticado pelos capoeiristas no centro da roda – Se mais lento e estratégico como no toque de Angola, ou mais rápido e acrobático como em São Bento Grande de Bimba - (CARNEIRO, 1975; p.5; ASSUNÇÃO, 2005, p.108). O berimbau principal (geralmente o Gunga, de som mais grave) inicia e encerra a roda, comanda a entrada e saída dos jogadores, e lidera a parte musical, puxando as ladainhas, chulas e corridos que são respondidos pelo coro dos participantes (ASSUNÇÃO, 2005, p. 108; SHAFFER, 1977).

A formação instrumental tradicional da capoeira, conhecida como bateria, geralmente se organiza em torno de três berimbaus com afinações e funções distintas: o Gunga (grave), marca o ritmo base, o Médio complementa o Gunga, e a Viola ou Violinha (agudo) executa improvisos e variações. A eles se juntam o pandeiro, o atabaque (tambor), o agogô (sino duplo) e o reco-reco (raspador), criando uma base rítmica complexa e envolvente que sustenta o canto e energiza o jogo (FALCÃO & OLIVEIRA, 2021; ASSUNÇÃO, 2005; SHAFFER, 1977). A estruturação promovida por Mestre Bimba e, principalmente, a preservação defendida por Mestre Pastinha, contribuíram para firmar o papel de liderança do berimbau.



Figura 6 Três Berimbaus com corpos sonoros diferentes (Horst Nogajski, 2004)

O berimbau, em sua configuração consolidada no Brasil, é um instrumento de construção aparentemente simples, mas que possui uma riqueza técnica e sonora perceptível. Sua estrutura básica é a de um arco musical com ressonador, mas cada componente desempenha um papel específico na produção de seu som característico e em sua função dentro da capoeira.

A aparente simplicidade do berimbau de barriga esconde uma engenhosidade notável na seleção e combinação de seus componentes, cada um desempenhando um papel crucial na produção de sua sonoridade característica. A construção do instrumento envolve a união harmoniosa de elementos naturais e, por vezes, adaptados, como a madeira flexível da verga, a corda de aço e a cabaça que atua como caixa de ressonância. A interação desses componentes principais, complementada pela baqueta, o dobrão e o caxixi, permite ao tocador extrair uma rica variedade de sons e ritmos. A seguir, detalharemos cada um desses elementos

(verga, corda, cabaça etc.) e o processo básico de sua montagem, fundamentais para a compreensão tanto de sua física quanto de sua prática cultural.

1. Verga: É o arco de madeira, tradicionalmente feito de biriba, uma madeira encontrada no Brasil conhecida por sua resistência e flexibilidade. Outras madeiras podem ser usadas, mas a biriba é preferida. A seleção e preparação da verga são cruciais; Falcão & Oliveira (2021) destacam a importância do processo de secagem para a qualidade final do instrumento.
2. Corda: Uma corda única de aço, geralmente retirada da estrutura interna de pneus de automóveis. Como já citado, a adoção da corda de aço foi uma inovação significativa no Brasil, proporcionando ao instrumento maior intensidade sonora, sustentação e riqueza harmônica em comparação com cordas de fibra ou metais mais macios (FALCÃO & OLIVEIRA, 2021).
3. Cabaça: O ressonador, feito de um fruto (*Lagenaria siceraria*) seco e oco (FALCÃO & OLIVEIRA, 2021). Seu tamanho varia, influenciando diretamente a altura e o timbre do som: cabaças maiores produzem sons mais graves (Gunga), enquanto as menores produzem sons mais agudos (Viola). A cabaça é presa à parte inferior da verga por um laço de corda, que também passa pela corda, fixando-o com a extremidade aberta apontada para o abdômen do tocador (SHAFFER, 1977; ASSUNÇÃO, 2005, p.108).
4. Baqueta ou Vareta: Uma vareta de madeira, geralmente fina e com cerca de 30-40 cm, usada para percutir a corda (FALCÃO & OLIVEIRA, 2021).
5. Dobrão (ou Pedra): Uma peça sólida, originalmente uma moeda grande de cobre (como o antigo dobrão de 40 réis), mas hoje é comum o uso de uma pedra lisa e redonda ou uma peça de metal. É segurada entre o polegar e o indicador da mesma mão que segura a verga e pressionada contra a corda para alterar a altura da nota (SHAFFER, 1977; FALCÃO & OLIVEIRA, 2021).
6. Caxixi: Um pequeno chocalho em forma de cesto, feito de vime trançado, contendo sementes secas, contas ou pequenos búzios. É segurado pela mesma mão que empunha a baqueta, complementando o som percussivo da corda com um chocalho (FALCÃO & OLIVEIRA, 2021).



Figura 7: Uma variedade de biribas (vergas)
Fonte: Eduardo “Nikito” Braga (2025) – Comunicação privada.



Figura 8: Cabaças de diversos tamanhos
Fonte: Eduardo “Nikito” Braga (2025) – Comunicação privada.

O som é produzido ao percutir a corda com a baqueta. A complexidade sonora vem da combinação de três sons básicos: o som da corda solto, o som da corda pressionado pelo dobrão (mais agudo) e o som "chiado" quando o dobrão apenas encosta levemente na corda vibrante. Além disso, o tocador modula o timbre e o volume abrindo e fechando a boca da cabaça contra seu próprio abdômen – daí a denominação "berimbau-de-barriga" (SHAFFER, 1977). Essa técnica permite controlar a ressonância.

A estrutura da bateria, enquanto arranjo específico de instrumentos, é o elemento primordial que define as sonoridades e o caráter de cada roda de capoeira. Essa implicação é evidente ao se comparar as baterias básicas da Capoeira Angola e da Capoeira Regional. Conforme expressa Nonato (2018), na Capoeira Angola de

Mestre Pastinha, a bateria é composta por uma gama diversificada de instrumentos (berimbau, pandeiro, reco-reco, agogô, atabaque, caxixi), o que confere à roda uma sonoridade rica e multifacetada. Em contrapartida, a composição da bateria na Capoeira Regional de Mestre Bimba é mais concisa, utilizando apenas um berimbau e dois pandeiros, o que resulta em uma musicalidade distinta, direta e focada. Assim, a disposição e a quantidade dos instrumentos não são casuais, mas sim estruturais para a criação da identidade musical que sustenta o ritmo e os significados de cada estilo.

Na Capoeira Angola, é tradicional o uso de três berimbaus na bateria, cada um com uma afinação relativa e função específica. O berimbau não toca melodias no sentido convencional, mas sim padrões rítmicos chamados toques. Cada toque possui uma estrutura rítmica específica e está associado a um determinado estilo, velocidade ou intenção do jogo de capoeira.

O mestre que comanda a roda escolhe o toque apropriado para o momento, e os praticantes devem adaptar seu jogo as regras implícitas naquele ritmo. O berimbau de barriga, portanto, através de seus aspectos técnicos e da linguagem dos toques, exerce um controle fundamental sobre a dinâmica musical e corporal da roda de capoeira, por isso, é considerado o símbolo da cultura. Alguns dos toques mais conhecidos são Angola, São Bento Grande de Bimba, lúna e Cavalaria. Segue uma breve descrição desses toques.

- Angola: Toque lento e ritualístico, para um jogo mais baixo, estratégico e cheio de malícia (ASSUNÇÃO, 2005, p.109).
- São Bento Grande de Bimba: Toque rápido e enérgico, característico da Capoeira Regional, que pede um jogo mais alto, objetivo e com golpes mais definidos (ASSUNÇÃO, 2005, p.109).
- lúna: Toque regional floreado e complexo, tradicionalmente reservado para o jogo de formados, com muitos movimentos acrobáticos e demonstrações de habilidade (ASSUNÇÃO, 2005; p.135-136).
- Cavalaria: Toque que reproduz o som de cascos de cavalos e historicamente era usado para alertar sobre a chegada da polícia (a cavalaria), pedindo um jogo rápido e atento, ou o fim da roda (SHAFFER, 1977; ASSUNÇÃO, 2005, p.118).

Após explorar a rica trajetória histórica e cultural do berimbau de barriga, desde suas raízes ancestrais até sua consolidação como ícone da capoeira, torna-se fundamental aprofundar a compreensão de sua essência sonora. Para isso, a próxima seção se dedicará ao referencial teórico da Física, desvendando os princípios da ondulatória e acústica que explicam como este instrumento singular produz seus sons característicos e como suas propriedades físicas são intrínsecas à sua identidade cultural.

2.2 REFERÊNCIAL TEÓRICO DE FÍSICA: ELEMENTOS DE ONDULATÓRIA E ACÚSTICA.

A Física, em seu vasto domínio, dedica-se ao estudo dos fenômenos naturais, buscando compreendê-los e descrevê-los por meio de leis e princípios. Dentro desse campo, a **Acústica** surge como uma área fundamental, concentrando-se no estudo do som em suas diversas manifestações. Mais especificamente, a acústica investiga a produção, propagação, recepção e os efeitos do som, que é, basicamente, uma forma de energia que se propaga através de ondas mecânicas. Seu papel na física é crucial, pois ela não apenas esclarece os mecanismos por trás da audição e da produção sonora, mas também encontra aplicações práticas em inúmeras áreas, desde a medicina (com o ultrassom) até a arquitetura (no controle de ruídos e otimização de ambientes) e a música (na construção e funcionamento de instrumentos) (HALLIDAY, RESNICK E WALKER, 2016, p. 343).

No contexto desta pesquisa sobre o berimbau de barriga e o ensino de acústica, se torna indispensável que se inicie do conceito de **Ondulatória**, a fim de uma compreensão aprofundada desse tópico, uma vez que o som é, por natureza, um fenômeno ondulatório (NUSSENZVEIG, 2014, p.153; HALLIDAY, RESNICK E WALKER, 2016, p. 344). Esse campo constitui um dos pilares fundamentais da física, sendo essencial para a compreensão de diversos fenômenos naturais, desde o movimento das águas até a propagação do som e da luz. Os princípios de ondulatória fornecem a base teórica necessária para compreender como o berimbau, instrumento tão importante para a cultura afro-brasileira, produz, modifica e propaga sons.

Na próxima seção, exploraremos em detalhes as ondas em suas diferentes naturezas, formas de propagação e suas diversas propriedades.

2.2.1 Princípios de ondulatória

Para aprofundar a compreensão dos fenômenos acústicos, é fundamental revisar os princípios da ondulatória. Trata-se do ramo da física que estuda as ondas, que são perturbações que se propagam de um ponto a outro em um meio, transportando energia, contudo, sem transportar matéria (NUSSENZVEIG, 2014, p.126). Essa perturbação pode ser de diversas naturezas, como a variação de pressão

em um fluido (ondas sonoras) ou o deslocamento de partículas em uma corda (ondas em cordas).

As ondas podem ser classificadas segundo diversos critérios, quanto à natureza, direção de propagação e dimensionalidade. As ondas de natureza mecânica são propagadas através do movimento oscilatório das partículas em um meio material, sejam fluidos (gases e líquidos) ou sólidos. Como afirma Lima (2012, p.25):

Quando forças externas actuam sobre sistemas mecânicos estes podem adquirir energia cinética (por exemplo, sofrer translação) ou, alternativamente, ser modificada a sua conformação (ocorrer deformação), resultando, no último caso, variações intrínsecas de energia potencial[...]. [...] Numa situação típica, a aplicação de uma força exterior instantânea a um sistema em equilíbrio, produz deslocamento de massa do sistema que, por sua vez, reage com uma força de restituição (reação elástica) que tende a restaurar o equilíbrio, opondo-se ao deslocamento. A aceleração da massa do sistema gera força de inércia que tende a manter o movimento. É da acção oposta destas duas forças (de inércia e de reação elástica) que resulta a oscilação. (*sic*)

Diferente das ondas mecânicas, as ondas eletromagnéticas, à exemplo da luz visível ou a onda de rádio, são produzidas por oscilações de natureza eletromagnética, portanto, não requerem um meio material para sua propagação, podendo essas serem propagadas no vácuo, como acontece com a radiação solar. O nosso foco será exclusivamente as ondas de natureza mecânicas (NUSSENZVEIG, 2014, p.126).

A direção de propagação de uma onda define outra característica importante. Ondas em uma corda são propagadas de maneira transversal, isto é, a direção de propagação da onda é perpendicular a direção de oscilação das partículas do meio no qual ela percorre (NUSSENZVEIG, 2014, p.126).

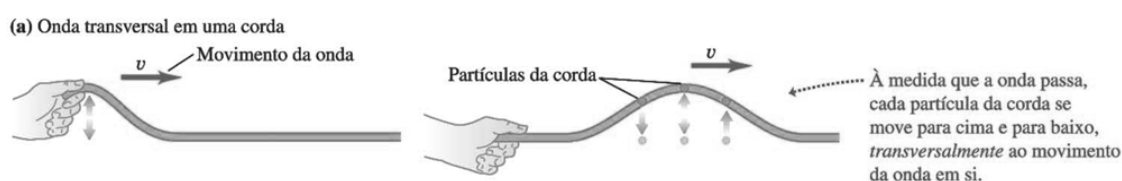


Figura 9: Onda transversal em uma corda (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.114).

Caso a onda se propague na mesma direção de propagação do movimento das partículas, é denominada de onda longitudinal. A onda sonora no ar atmosférico é, segundo Nussenzveig (2014, p.126), um exemplo de onda longitudinal, uma vez que sua propagação se dá, pela variação de zonas de compressão e rarefação que se sucedem ao longo da direção de propagação da referida onda.

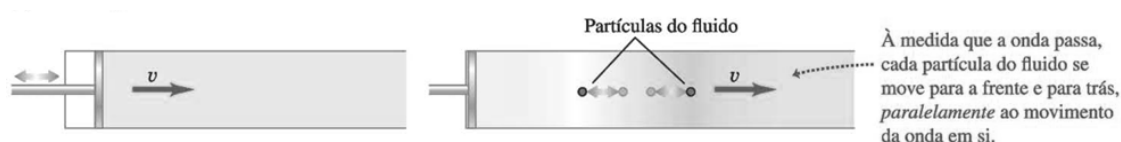


Figura 10: Onda Longitudinal em um fluido (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.114).

Existem casos de ondas que se propagam de forma transversal e longitudinal simultaneamente, essas são conhecidas como ondas mistas, é o exemplo das ondas na superfície de um lago, onde suas partículas descrevem um movimento circular.



Figura 11: Ondas mistas na superfície de um fluido (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.114).

Por fim, as ondas podem ser distinguidas em sua dimensionalidade, podendo ser essas, unidimensionais, que se propagam em uma única dimensão (ondas longitudinais em uma corda), bidimensionais, que se propagam em duas dimensões (ondas na superfície de um lago) e tridimensionais, que se propaga em três dimensões. O som, que é o objeto de nosso estudo, se caracteriza como uma onda tridimensional (LIMA, 2012, p85-87).

Algumas propriedades de extrema importância para o tema abordado nessa seção, revelam-se na discussão de um determinado tipo de onda, as ondas periódicas. Trata-se de uma onda gerada por uma fonte que repete o pulso periodicamente, comumente em Movimento Harmônico Simples (MHS). De tal forma, o período de oscilação (T) é definido pelo intervalo de tempo entre a emissão de dois pulsos consecutivos e é medido em segundos [s] no Sistema Internacional de medidas (S.I) (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.116). o inverso do período é denominado de frequência (f) e pode ser expresso como:

$$T = \frac{1}{f} \Rightarrow f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

A frequência é a medida do número de oscilações por unidade de tempo, medida em hertz [Hz] ou ($[s^{-1}]$) no S.I. A frequência também está relacionada a frequência angular (ω) da seguinte forma:

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.2)$$

A figura a seguir representa a propagação de uma onda periódica (senoidal) em uma corda:

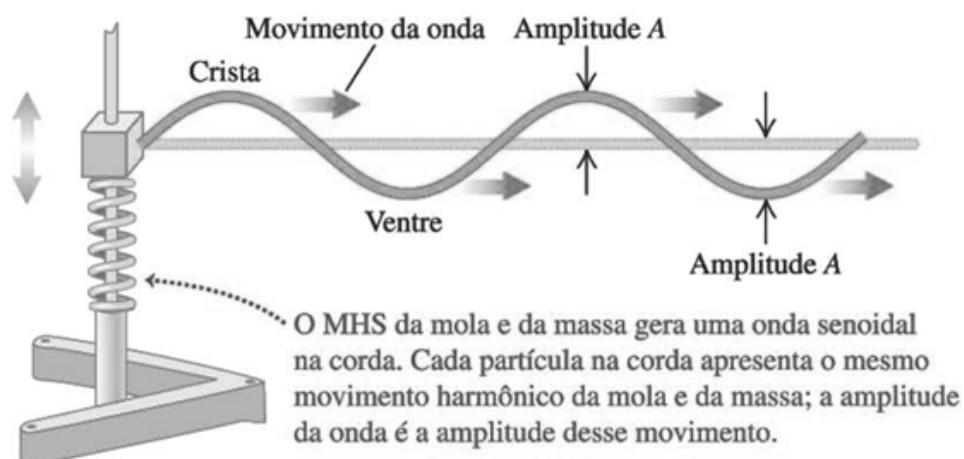


Figura 12: Onda transversal senoidal se propagando em uma corda (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.116).

Nota-se alguns pontos de altura máxima, denominados de cristas, seguidos de pontos de altura mínima, estes são os vales. A amplitude (A) é a medida da distância entre esses pontos e a posição de equilíbrio da onda. Segundo Young & Freedman (2015, p.116) “O comprimento de onda (λ) (a letra grega lambda) da onda é a distância entre duas cristas sucessivas ou entre dois ventres consecutivos, ou de qualquer ponto até o ponto correspondente na próxima repetição da forma de onda.” Por consequência, a velocidade de deslocamento de uma onda periódica é dada por:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad (2.3)$$

Para uma análise mais profunda dos fenômenos ondulatórios, como os que ocorrem com o berimbau de barriga, é essencial ir além das características gerais das ondas periódicas (velocidade, amplitude, período, frequência e comprimento de onda). Torna-se necessário uma descrição mais detalhada das posições e movimentos das partículas individuais do meio ao decorrer do tempo durante a propagação da onda. Essa abordagem nos permite compreender precisamente como a perturbação se manifesta e evolui no espaço e no tempo (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p. 118).

Como exemplo específico e diretamente aplicável ao berimbau, daremos seguimento à análise das ondas em uma corda esticada. No caso do berimbau, a corda tensionado atua como essa corda. Desprezando o pequeno encurvamento provocado pelo peso da corda (uma simplificação comum para cordas sob alta tensão), a posição de equilíbrio da corda corresponde a uma linha reta. Para descrever o movimento da onda, utilizaremos um sistema de coordenadas com o eixo Ox alinhado com a corda em sua posição de equilíbrio.

As ondas que se propagam ao longo de uma corda são, por natureza, transversais. Isso significa que, durante o movimento da onda, uma partícula da corda que estava inicialmente na posição de equilíbrio x é deslocada verticalmente (ou seja, perpendicularmente ao eixo Ox) até uma distância y . O valor desse deslocamento y depende de duas variáveis: da posição x da partícula ao longo da corda e do instante de tempo t em que observamos esse deslocamento (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.118). Portanto, y deve ser uma função de duas variáveis independentes, x e t , que representaremos como:

$$y = f(x, t) = y(x, t) \quad (2.4)$$

Essa função $y(x, t)$ é o que Young & Freedman (2015) chamam de função de onda. Ela descreve completamente a onda, fornecendo o deslocamento transversal de qualquer ponto da corda em qualquer instante de tempo. Quando conhecemos essa função para uma dada onda, podemos utilizá-la para determinar o deslocamento (a partir do equilíbrio) de qualquer partícula da corda em qualquer instante. A partir desse resultado fundamental, é possível ir além e calcular outras grandezas físicas importantes, como a velocidade e a aceleração de quaisquer partículas da corda, a forma instantânea da corda e qualquer outra informação que desejável sobre o comportamento da corda em qualquer momento (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p. 118).

Em uma onda que se move ao longo de uma corda, o movimento de uma partícula à direita atrasa em relação ao movimento de uma partícula à esquerda, com um atraso proporcional à distância entre elas. Isso implica em diferenças de sincronia, ou diferenças de fase, entre os diversos pontos oscilantes da corda (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.119).

Para ilustrar, considere o deslocamento de uma partícula na extremidade esquerda da corda ($x = 0$), onde a onda se origina, dado por:

$$y(0, t) = A \cos(\omega t) = A \cos(2\pi f t) \quad (2.5)$$

Esta equação descreve uma partícula executando um Movimento Harmônico Simples (MHS) com amplitude A e frequência angular ω . No instante $t = 0$, a partícula em $x = 0$ está em seu deslocamento positivo máximo ($y = A$) e momentaneamente em repouso. A perturbação ondulatória se propaga de $x = 0$ para um ponto x à direita em um intervalo de tempo x/v , onde v é a velocidade da onda. Assim, o movimento da partícula no ponto x no instante t é idêntico ao movimento da partícula em $x = 0$ no instante anterior $t - x/v$. Substituindo t por $(t - x/v)$ na Equação (2.5), e considerando que $\cos(-\theta) = \cos(\theta)$, obtemos a função de onda geral para uma onda senoidal se propagando no sentido positivo do eixo x (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.119):

$$y(x, t) = A \cos \left[\omega \left(\frac{x}{v} - t \right) \right] \quad (2.6)$$

Esta forma da equação é particularmente útil para analisar o comportamento da onda em diferentes posições e tempos. A função de onda $y(x, t)$ é uma descrição completa do movimento ondulatório, permitindo prever o deslocamento de qualquer ponto do meio em qualquer instante. No contexto do berimbau, essa formulação matemática permite modelar com precisão a vibração da corda de aço e a propagação das ondas sonoras, fornecendo uma base teórica para compreender as nuances acústicas do instrumento.

Podemos expressar a função de onda de outras maneiras úteis, relacionando-a com as equações (2.3) e (2.2). Assim, a Equação pode ser reescrita como:

$$A \cos \left[2\pi f \left(\frac{x}{v} - t \right) \right] \quad (2.7)$$

$$A \cos \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda} x - 2\pi f t \right) \right] = A \cos \left[2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) \right] \quad (2.8)$$

A equação destaca a relação entre as características espaciais (comprimento de onda λ) e temporais (frequência f e período T) da onda. A compreensão dessas relações é fundamental para o estudo do berimbau, uma vez que, a manipulação do comprimento efetivo da corda de aço e da tensão, como veremos em breve, afeta diretamente λ e T , e conseqüentemente, as características do som produzido.

Para simplificar a notação, é oportuno introduzir uma grandeza denominada número de onda angular, ou habitualmente chamada de número de onda (k) (NUSSENZVEIG, 2014, p.129), definida como:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.9)$$

O número de onda representa o número de ciclos de onda por unidade de comprimento e é uma medida da periodicidade espacial da onda (NUSSENZVEIG, 2014, p.129). Com essa definição, a função de onda pode ser expressa de forma mais compacta, facilitando a análise e o cálculo em problemas de ondas.

Além disso, a velocidade da onda (v) pode ser expressa em termos da frequência angular (ω) e do número de onda (k)

Combinando as definições de frequência angular (2.2) e número de onda (2.9), podemos reescrever a função de onda senoidal em uma forma ainda mais compacta e amplamente utilizada:

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t) \quad (2.10)$$

Esta é a forma padrão da equação de onda senoidal para uma onda que se propaga no sentido positivo do eixo x . Se a onda se propagar no sentido negativo do eixo, a equação se torna:

$$y(x, t) = A \cos(kx + \omega t) \quad (2.11)$$

Essa flexibilidade na representação matemática permite descrever a propagação das ondas em diferentes direções, o que é relevante para analisar a complexidade das ondas geradas no berimbau, que podem se propagar ao longo da corda de aço. A compreensão dessas equações é essencial para modelar o comportamento vibracional do instrumento e para explorar as interações entre a corda de aço, a cabaça e a baqueta, que são responsáveis pela riqueza sonora do berimbau.

Para complementar a descrição matemática das ondas, é fundamental compreender a velocidade de fase, que representa a velocidade com que um ponto de fase constante (como uma crista ou um vale) se propaga através do meio (NUSSENZVEIG, 2014, p.129).

Consideremos a função de onda para uma onda senoidal, que pode ser expressa como:

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \delta) \quad (2.12)$$

Onde δ é a constante de fase. O argumento do cosseno, $(kx - \omega t + \delta)$, é a fase da onda, denotada por $\varphi(x, t)$.

$$\varphi(x, t) = kx - \omega t + \delta \quad (2.13)$$

Para um ponto de fase constante, como uma crista ou um vale, a fase total não muda com o tempo. Isso significa que, se acompanharmos um ponto específico da onda, sua fase $\varphi(x, t)$ permanece constante e igual a um valor φ_0 :

$$\varphi(x, t) = \varphi_0 = \text{constante} \quad (2.14)$$

Para encontrar a velocidade com que esse ponto de fase constante se move, derivamos a expressão da fase em relação ao tempo. Como φ_0 é uma constante, sua derivada é zero:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{d}{dt}(kx - \omega t + \delta) = 0 \quad (2.15)$$

Ao realizar a derivada, lembrando que k e ω são constantes e δ também é constante, e que x varia com o tempo (pois estamos seguindo um ponto da onda), obtemos:

$$k \frac{dx}{dt} - \omega = 0 \quad (2.16)$$

Isolando $\frac{dx}{dt}$, que representa a velocidade do ponto de fase constante, ou seja, a velocidade de fase v , temos:

$$v = \frac{\omega}{k} \quad (2.17)$$

Esta relação é fundamental e demonstra que a velocidade de fase da onda é determinada pela razão entre a frequência angular e o número de onda. No contexto

do berimbau, essa equação é crucial para entender como as características vibracionais da corda de aço se traduzem na velocidade de propagação do som. A frequência angular está relacionada à rapidez das oscilações da corda de aço, enquanto o número de onda descreve a periodicidade espacial da onda ao longo da corda de aço.

Podemos ainda ligar essa velocidade de fase com o comprimento de onda (λ) e o período (T), através das equações (2.2) e (2.9), substituindo essas relações na expressão da velocidade de fase (2.17), recuperamos a conhecida relação (2.3):

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

É importante distinguir entre a velocidade da onda e a velocidade das partículas do meio através do qual a onda se propaga. Young e Freedman (2015, p.122) enfatizam que a velocidade da onda (v) é a velocidade com que a forma da onda se move através do meio, enquanto a velocidade de uma partícula do meio (v_y) é a velocidade com que um ponto específico do meio oscila em torno de sua posição de equilíbrio. Para uma onda senoidal, a velocidade transversal da partícula é dada pela derivada parcial da função de onda em relação ao tempo:

$$v_y(x, t) = \frac{\partial y(x, t)}{\partial t} = \omega A \sin(kx - \omega t) \quad (2.18)$$

A aceleração da partícula, por sua vez, se revela na derivada parcial de segunda ordem de $y(x, t)$ em relação a t :

$$a_y(x, t) = \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = -\omega^2 A \cos(kx - \omega t) = -\omega^2 y(x, t) \quad (2.19)$$

Essas equações demonstram que a velocidade e a aceleração das partículas do meio são funções do tempo e da posição, e que a aceleração é proporcional ao deslocamento, característico do MHS. A análise dessas grandezas permite uma compreensão mais detalhada de como a energia é transferida da vibração da corda de aço para a cabaça que, ao vibrar junto com a corda, transfere essa energia para o ar, produzindo o som que ouvimos.

Outra possibilidade é a derivação da função de onda em relação a posição x . “A primeira derivada $\partial y(x, t)/\partial x$ fornece a inclinação da corda no ponto x e no tempo t . A segunda derivada em relação a x fornece a curvatura da corda” (Young & Freedman, 2015, p.123)

Assim temos:

$$\frac{\partial y(x, t)}{\partial x} = -k A \sin(kx - \omega t) \quad (2.20)$$

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = -k^2 A \cos(kx - \omega t) = -k^2 y(x, t) \quad (2.21)$$

Isolando $y(x, t)$ nas derivadas parciais de segunda ordem em relação a t e em relação a x , (Equações (2.19), (2.21)) extraímos um resultado crucial para o estudo de ondulatória, a **equação da onda linear**:

$$-\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \frac{1}{\omega^2} = y(x, t) = -\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \cdot \frac{1}{k^2}$$

Considerando a equação (2.17), culminamos em:

$$\frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} \quad (2.22)$$

Esta equação é de suma importância na física das ondas, pois estabelece a relação entre as variações espaciais e temporais do deslocamento da onda. A solução geral desta equação representa ondas que se propagam com uma velocidade v , isso permite demonstrar que a luz é uma onda eletromagnética. Para o berimbau, a equação de onda linear pode ser aplicada para modelar a vibração da corda de aço, considerando as propriedades físicas do material e as condições de contorno.

Compreendidos os princípios fundamentais da ondulatória, que descrevem o comportamento geral das ondas em diferentes meios, é crucial agora aplicar esse conhecimento ao estudo das ondas sonoras. A partir daqui, aprofundaremos nos elementos específicos da acústica, investigando como esses princípios se manifestam na produção e propagação do som, com um olhar particular para as características sonoras do berimbau de barriga e os fenômenos físicos que o tornam um instrumento tão peculiar.

2.2.2 Ondas sonoras e elementos de acústica do berimbau de barriga

Young e Freedman (2015, p. 128) fornecem uma dedução crucial para a velocidade das ondas mecânicas em uma corda, que é de suma importância para a compreensão do funcionamento do berimbau.

Para entender a origem dessa relação, é válido considerar o papel da força restauradora e da inércia no movimento ondulatório. A velocidade de qualquer onda mecânica pode ser genericamente expressa como:

$$v = \sqrt{\frac{\text{Força restauradora devolvendo o sistema ao equilíbrio}}{\text{Inércia resistindo à volta ao equilíbrio}}}$$

(YOUNG & FREEDMAN, 2015, p. 128)

No caso de uma corda, a tensão (F_t) desempenha o papel da força restauradora, pois é ela que tende a devolver a corda à sua configuração de equilíbrio após uma perturbação. A massa da corda, ou mais precisamente, sua densidade linear (μ), fornece a inércia que impede a corda de voltar instantaneamente ao equilíbrio.

A ideia geral da dedução envolve considerar um pequeno segmento da corda e aplicar a Segunda Lei de Newton, $\vec{F} = m\vec{a}$, para analisar seu movimento transversal. Consideramos um pequeno pedaço da corda de comprimento Δx . A massa desse segmento é $\mu\Delta x$, onde μ é a densidade linear de massa (massa por unidade de comprimento). A tensão na corda (F_t) é considerada constante e sempre tangente à curva da corda. As forças nas extremidades do segmento são vetores tensionais \vec{F}_1 e \vec{F}_2 , com direções ligeiramente diferentes por causa da curvatura da corda.

A força vertical resultante sobre o segmento da corda é obtida pela diferença das componentes verticais das tensões nas extremidades. Para pequenos ângulos, o seno do ângulo é aproximadamente igual à tangente, que por sua vez é igual à derivada parcial do deslocamento y em relação a x ($\partial y / \partial x$) (NUSSENZVEIG, 2014, p.132). Assim, a força vertical F_{t_y} é dada por:

$$F_{t_y} = F_t \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_{x+\Delta x} - F_t \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_x \quad (2.23)$$

Esta expressão representa a diferença de inclinação entre as duas extremidades do segmento da corda, que é uma consequência da curvatura.

De acordo com a Segunda Lei de Newton, a força resultante F_{t_y} causa uma aceleração transversal no segmento de massa $\mu\Delta x$. Portanto:

$$F_t \left[\left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_{x+\Delta x} - \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_x \right] = \mu \Delta x \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (2.24)$$

Dividindo ambos os lados por Δx e tomando o limite quando $\Delta x \rightarrow 0$, o lado esquerdo da equação se torna a derivada segunda de y em relação a x :

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} F_t \cdot \frac{\left[\left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_{x+\Delta x} - \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_x \right]}{\Delta x} = \mu \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (2.25)$$

Assim, obtemos a equação de onda para uma corda, em sua forma diferencial:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{\mu}{F_t} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (2.26)$$

Esta é a equação de onda, que descreve o movimento de uma onda transversal em uma corda com duas extremidades tensionadas. Ela é fundamental para entender como as propriedades físicas da corda (tensão e densidade linear) influenciam a propagação da onda.

Comparando esta equação com a equação de onda (2.22), podemos identificar a velocidade da onda (v):

$$v = \sqrt{\frac{F_t}{\mu}} \quad (2.27)$$

Esta é a equação da velocidade da onda em uma corda esticada. A dedução demonstra que a velocidade de uma onda em uma corda aumenta com a tensão (F_t) e diminui com a massa por unidade de comprimento (μ).

A dedução rigorosa da equação de onda e da velocidade de propagação reforça a compreensão de que a tensão na corda atua como a força restauradora, enquanto a densidade linear de massa representa a inércia. Essa relação é diretamente aplicável ao berimbau: uma corda de aço mais tensionada (maior F_t) ou mais leve (menor μ) resultará em uma velocidade de onda maior.

Outro fenômeno fundamental a ser abordado é a interferência de ondas, que ocorre quando duas ou mais ondas se encontram em um mesmo ponto do espaço. O princípio da superposição estabelece que, quando duas ou mais ondas se sobrepõem, o deslocamento resultante em qualquer ponto e a qualquer instante é a soma algébrica dos deslocamentos individuais que cada onda produziria se estivesse presente sozinha (HALLIDAY, RESNICK E WALKER, 2016, p. 299; YOUNG & FREEDMAN,

2015, p.134). Este princípio é crucial para entender fenômenos como a formação de ondas estacionárias no berimbau.

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad (2.28)$$

O fenômeno da interferência de ondas é fundamental para a compreensão de diversos aspectos da acústica, incluindo a forma como o som é produzido e modificado em instrumentos musicais como o berimbau. Quando duas ou mais ondas se encontram no mesmo meio, elas se combinam para formar uma onda resultante. Esse processo é governado pelo princípio da superposição (HALLIDAY, RESNICK & WALKER, 2016, p. 299).

Para duas ondas senoidais que se propagam na mesma direção, com a mesma frequência, número de onda e amplitude, mas com uma diferença de fase ϕ , podemos descrever seus deslocamentos como:

$$y_1(x, t) = A \cos(kx - \omega t); y_2(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \phi) \quad (2.29)$$

A onda resultante, é obtida pela equação (2.28):

$$A \cos(kx - \omega t) + A \cos(kx - \omega t + \phi) \quad (2.30)$$

Utilizando a identidade trigonométrica de soma de cossenos:

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \left(\frac{\alpha + \beta}{2} \right) \cos \left(\frac{\alpha - \beta}{2} \right) \quad (2.31)$$

Onde ($\alpha = kx - \omega t$) ($\beta = kx - \omega t + \phi$) a equação pode ser simplificada para:

$$y(x, t) = 2A \cos \left(\frac{\phi}{2} \right) \cos \left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.32)$$

Essa equação revela que a onda resultante também é uma onda senoidal, com uma nova amplitude $A_{res} = 2A \cos \left(\frac{\phi}{2} \right)$ e uma fase deslocada em $\frac{\phi}{2}$. A natureza da interferência depende da diferença de fase ϕ .

Interferência destrutiva ocorre quando as ondas estão completamente defasadas ($\phi = \pi$ rad ou 180°), resultando em uma amplitude nula $A_{res} = 0$. Nesse caso, os picos de uma onda se alinham com os vales da outra, cancelando-se mutuamente e resultando em deslocamento zero. A interferência intermediária ocorre para valores de ϕ entre 0 e π rad, a interferência é parcial, resultando em uma amplitude intermediária entre zero e $2A$. Por último, a interferência construtiva ocorre

quando as ondas estão em fase $\phi = 0$ rad ou 0° , resultando em uma amplitude máxima, onde $A_{res} = 2A$. Isso significa que os picos de uma onda se alinham com os picos da outra, e os vales com os vales, reforçando o deslocamento.

As ondas estacionárias são formadas quando uma onda progressiva que se propaga em um meio limitado, como a corda de aço do berimbau, encontra uma extremidade fixa e é refletida. Conforme Halliday, Resnick e Walker (2016, p. 309), essas ondas não se propagam, mas oscilam em posições fixas, resultando da superposição de ondas progressivas que viajam em direções opostas. Essa onda refletida, ao se sobrepor à onda incidente, cria um padrão de interferência. Os autores explicam que a onda incidente e a onda refletida se combinam de tal forma que certos pontos da corda permanecem em repouso (nós) devido a resultante da soma se igualar a zero, enquanto outros pontos oscilam com amplitude máxima (antinós).

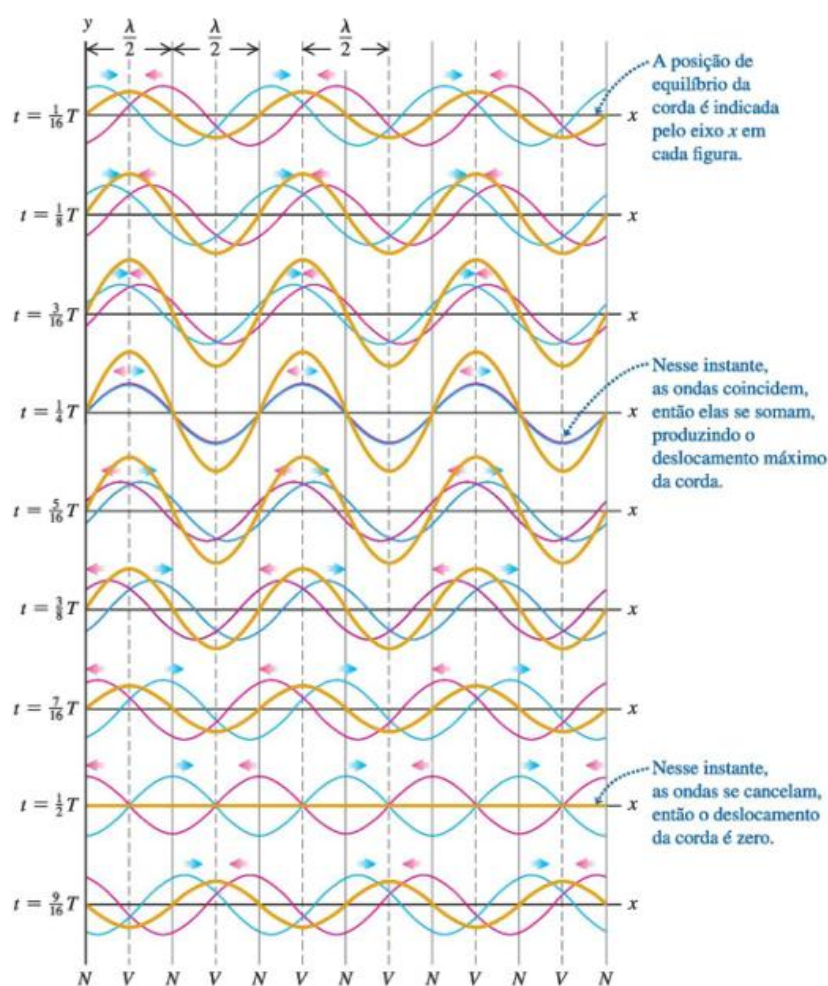


Figura 13: Formação de uma onda estacionária (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.136).

A Figura 13 ilustra esse processo, mostrando como a superposição de ondas progressivas (curvas vermelhas e azuis) resulta em ondas estacionárias (curvas douradas) ao longo do tempo.

Matematicamente, a formação de uma onda estacionária pode ser descrita pela superposição de duas ondas senoidais idênticas, mas que se propagam em sentidos opostos. Se considerarmos uma onda incidente $y_1(x, t) = A \cos(kx - \omega t)$ e uma onda refletida $y_2(x, t) = -A \cos(kx + \omega t)$ (onde o sinal negativo indica uma inversão de fase devido à reflexão em uma extremidade fixa) (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.137), a onda resultante $y(x, t)$ é dada pela soma dessas duas funções:

$$y(x, t) = A \cos(kx - \omega t) - A \cos(kx + \omega t) \quad (2.33)$$

Utilizando a identidade trigonométrica para a diferença de cossenos:

$$\cos(\alpha) - \cos(\beta) = -2 \sin\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) \sin\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right) \quad (2.34)$$

Temos que:

$$\alpha = (kx - \omega t); \beta = (kx + \omega t) \quad (2.35)$$

$$\cos(\alpha) - \cos(\beta) = -2 \sin(kx) \sin(-\omega t) \quad (2.36)$$

Lembrando que $\sin(-\theta) = -\sin(\theta)$, portanto:

$$\cos(\alpha) - \cos(\beta) = 2 \sin(kx) \sin(\omega t) \quad (2.37)$$

podemos reescrever a equação da onda estacionária como:

$$y(x, t) = (2A) \sin(kx) \sin(\omega t) \quad (2.38)$$

Esta equação é a forma padrão da função de onda para uma onda estacionária em uma corda com extremidade fixa em $x = 0$. Ela revela que a amplitude da oscilação em qualquer ponto x da corda varia com a posição. Os pontos onde $\sin(kx) = 0$ são os nós, onde o deslocamento é sempre nulo. Já os pontos onde $\sin(kx) = 1$ são os antinós, onde o deslocamento é máximo.

“As condições na extremidade da corda, como um suporte rígido ou a ausência completa da força transversal, denominam-se condições de contorno” (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.133). As **condições de contorno**, ou condições de fronteira,

são de suma importância para a formação de ondas estacionárias. Quando uma corda está fixa nas duas extremidades, o deslocamento nesses pontos deve ser sempre zero. Isso significa que as extremidades da corda devem corresponder a nós das ondas estacionárias. Para que essa condição seja satisfeita, somente certos comprimentos de onda são permitidos. Especificamente, o comprimento total da corda (L) deve ser um múltiplo inteiro de meio comprimento de onda. Matematicamente, essa relação é expressa como:

$$L = n \frac{\lambda_n}{2} \Rightarrow \lambda_n = \frac{2L}{n} \quad (2.39)$$

n é um número inteiro que representa o número do harmônico (1, 2, 3, ...). O valor $n = 1$ corresponde ao modo fundamental (primeiro harmônico), $n = 2$ ao segundo harmônico, e assim por diante. λ_n é o comprimento de onda do n -ésimo modo normal de vibração.

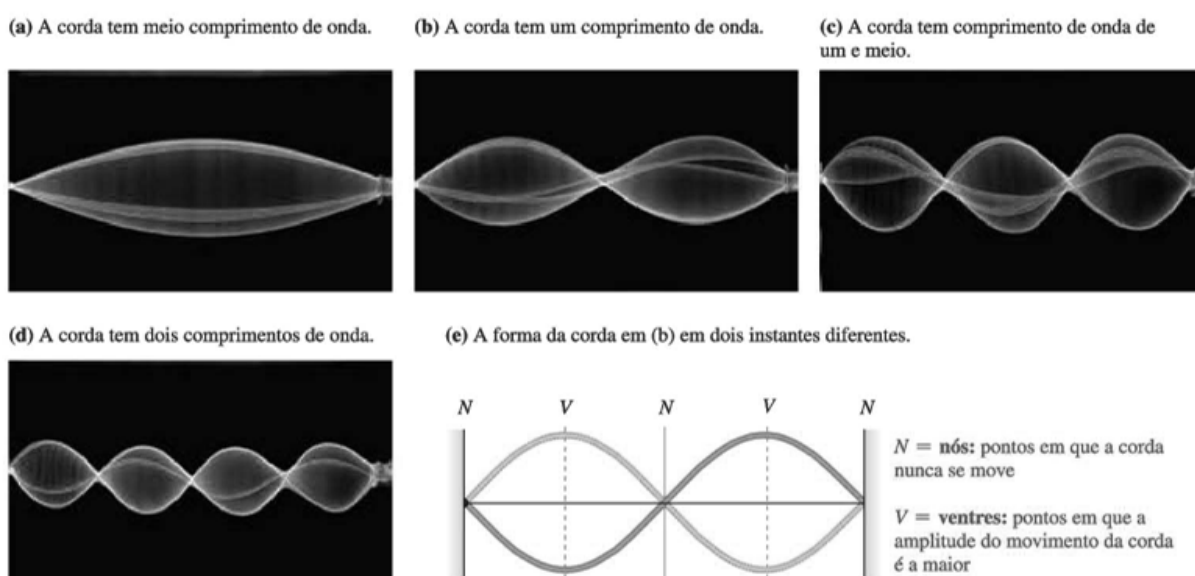


Figura 14: Tempos de exposição de ondas estacionárias em uma corda esticada (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.135).

A frequência com que cada modo normal de vibração ocorre está diretamente relacionada ao comprimento de onda permitido e à velocidade de propagação da onda na corda. Essas frequências são denominadas de harmônicos, e a série desses valores, série harmônica (YOUNG & FREEDMAN, 2015 p.140). Sabemos que a velocidade da onda (v) é o produto do comprimento de onda pela frequência (2.3).

Substituindo a expressão para λ_n na equação da velocidade, podemos determinar a frequência de cada modo normal:

$$v = \left(\frac{2L}{n}\right) \cdot f_n \Rightarrow f_n = \frac{nv}{2L} \quad (2.40)$$

Esta equação mostra que a frequência de cada harmônico é diretamente proporcional ao número do harmônico (n) e à velocidade da onda na corda (v), e inversamente proporcional ao dobro do comprimento da corda ($2L$).

O primeiro harmônico, ou frequência fundamental (f_1), ocorre quando $n = 1$. Para este caso, a frequência é dada por:

$$f_1 = \frac{v}{2L} \quad (2.41)$$

Assim, para qualquer harmônico n , a frequência do modo normal (f_n) é simplesmente um múltiplo inteiro da frequência fundamental:

$$f_n = nf_1 \quad (2.42)$$

Essa relação explica por que os sons produzidos por instrumentos de corda são compostos por uma série de harmônicos que são múltiplos inteiros da frequência fundamental. No berimbau, a manipulação do comprimento L e da tensão da corda de aço (que afeta v) permite ao tocador explorar essa série harmônica.

Para a condição de contorno da corda fixa em ambas as extremidades, podemos expressar a frequência fundamental (f_1) em termos da força de tensão (F_t) e a densidade linear (μ):

$$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F_t}{\mu}} \quad (2.43)$$

Young & Freedman (2015) afirmam que “Essa também é a frequência fundamental da onda sonora criada no ar que envolve a corda vibrante.”. Diante desta afirmação, a equação se torna fundamental para o estudo das propriedades do Berimbau de Barriga.

As ondas sonoras, diferentemente das ondas transversais em cordas, são ondas longitudinais, o que significa que o deslocamento das partículas do meio ocorre paralelamente à direção de propagação da onda. Young e Freedman (2015) elucidam que, em um fluido como o ar, uma onda sonora se propaga através de compressões

e rarefações do meio, resultando em flutuações de pressão em relação à pressão atmosférica de equilíbrio.

Uma onda sonora senoidal em um fluido pode ser descrita tanto em termos do deslocamento das partículas do meio quanto em termos das flutuações de pressão que ela provoca. O deslocamento das partículas ($s(x, t)$) é uma função da posição x e do tempo t . Para uma onda que se propaga no sentido positivo do eixo x , o deslocamento pode ser representado por:

$$s(x, t) = S_{max} \cos(kx - \omega t) \quad (2.44)$$

Onde S_{max} é a amplitude máxima de deslocamento das partículas. Nota-se a semelhança entre as equações (2.44) e (2.11). É importante destacar que, em uma onda longitudinal, os pontos de máximo deslocamento não correspondem necessariamente aos pontos de máxima ou mínima pressão. De fato, onde o deslocamento das partículas é máximo, a variação de pressão é nula, e onde o deslocamento é nulo, a variação de pressão é máxima ou mínima.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2016, p.351) “quando a onda se propaga, a pressão do ar em qualquer posição x varia senoidalmente”. As variações de pressão em uma onda sonora são mais diretamente relacionadas à nossa percepção do som. A pressão instantânea $P_{total}(x, t)$ em um ponto x e no tempo t é dada pela soma da pressão atmosférica de equilíbrio (P_{atm}) e a flutuação de pressão ($P(x, t)$):

$$P_{total}(x, t) = P_{atm} + P(x, t) \quad (2.45)$$

A flutuação de pressão $P(x, t)$ é uma variação senoidal com a mesma frequência das partículas do ar. A amplitude máxima dessa flutuação é chamada de amplitude da pressão (P_{max}). Young e Freedman (2015) demonstram que a flutuação de pressão está relacionada à variação de volume do meio. A variação de volume (ΔV) de um cilindro de fluido devido ao deslocamento das partículas é dada por:

$$\Delta V = \sigma(s_2 - s_1) = \sigma[s(x + \Delta x, t) - s(x, t)] \quad (2.46)$$

Dividindo pelo volume inicial $V = \sigma \cdot \Delta x$, obtemos a **variação relativa de volume**:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{s(x + \Delta x, t) - s(x, t)}{\Delta x} \quad (2.47)$$

Para um pequeno Δx , a variação relativa de volume é aproximadamente:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\partial s(x, t)}{\partial x} \quad (2.48)$$

A relação entre a flutuação de pressão e a variação relativa de volume é dada pelo módulo de compressibilidade (B) do meio:

$$B = -\frac{P(x, t)}{\frac{\Delta V}{V}} \quad (2.49)$$

Portanto:

$$P(x, t) = -B \frac{\partial s(x, t)}{\partial x} \quad (2.50)$$

Substituindo a expressão para $s(x, t)$ e realizando a derivada parcial, obtemos a flutuação de pressão para uma onda sonora senoidal:

$$P(x, t) = (BkS_{max}) \sin(kx - \omega t) \quad (2.51)$$

Esta equação mostra que a flutuação de pressão é uma função senoidal que está 90° fora de fase com o deslocamento das partículas. A amplitude da pressão (P_{max}) é, portanto, dada por:

$$P_{max} = BkS_{max} \quad (2.52)$$

Onde B é o módulo de compressibilidade do meio (para o ar, aproximadamente 1.42×10^5 Pa a 20°C), k é o número de onda, S_{max} é a amplitude de deslocamento das partículas.

Essa relação é crucial para entender a intensidade do som. Uma maior amplitude de deslocamento das partículas (S_{max}) ou um maior número de onda (k , indicando um menor comprimento de onda e, portanto, uma maior frequência para uma dada velocidade) resultará em uma maior amplitude de pressão, o que se traduz em um som mais alto.

Seguiremos aprofundando a compreensão da velocidade de propagação das ondas sonoras em diferentes meios, um tema central para a acústica e diretamente aplicável à análise do berimbau e ao ensino de física.

A velocidade do som em um fluido, como o ar ou a água, é determinada pela sua resistência à compressão (módulo de compressão, B) e pela sua densidade (ρ).

Consideremos um pequeno volume cilíndrico de fluido de comprimento Δx e área da seção transversal A . Quando uma onda sonora passa por este volume, ela causa variações de pressão e deslocamento das partículas do fluido. A força resultante sobre este volume devido à variação de pressão é dada por:

$$F = -A \frac{\partial P}{\partial x} \Delta x \quad (2.53)$$

Onde $\frac{\partial P}{\partial x}$ representa a variação da pressão com a posição.

A massa deste volume de fluido é $m = \rho A \Delta x$. Pela Segunda Lei de Newton ($F = ma$), e considerando a aceleração das partículas do fluido como $a = \frac{\partial^2 s}{\partial t^2}$ (onde s é o deslocamento das partículas), temos:

$$-A \frac{\partial P}{\partial x} \Delta x = (\rho A \Delta x) \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} \quad (2.54)$$

Simplificando $A \Delta x$ de ambos os lados, obtemos a equação de movimento:

$$-\frac{\partial P}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} \quad (2.55)$$

Para ondas sonoras, a variação de pressão (P) está relacionada ao deslocamento (s) das partículas do fluido através do módulo de compressão B , através da equação (2.50), para uma propagação adiabática (sem troca de calor com o ambiente). Derivando esta expressão em relação a x , obtemos a relação entre a variação da pressão e a segunda derivada do deslocamento:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = -B \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} \quad (2.56)$$

Substituindo a Equação (2.56) na Equação (2.55):

$$B \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} = \rho \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} \quad (2.57)$$

Reorganizando para a forma da equação de onda (2.22) identificamos a velocidade v como:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2.58)$$

A compreensão da Equação (2.54) permite analisar como as propriedades do ar (sua compressibilidade e densidade) influenciam a velocidade do som.

Em materiais sólidos, como a madeira do arco ou a corda de aço do berimbau, a velocidade das ondas sonoras longitudinais é determinada pelo Módulo de Young (Y), que representa a rigidez do material, e pela sua densidade (ρ). A dedução para sólidos é análoga à de fluidos, mas utiliza o Módulo de Young (Y) em vez do módulo de compressão.

A tensão (σ) em um sólido é dada pela Lei de Hooke:

$$\sigma = Y\epsilon = Y \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.59)$$

Onde ϵ é a deformação e u é o deslocamento. A força resultante em um elemento de volume de área A e comprimento Δx é:

$$F = A \frac{\partial \sigma}{\partial x} \Delta x = AY \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Delta x \quad (2.60)$$

Aplicando a Segunda Lei de Newton ($F = ma$), com $m = \rho A \Delta x$ e $a = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$:

$$AY \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Delta x = (\rho A \Delta x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.61)$$

Simplificando $A \Delta x$ e reorganizando, obtemos:

$$Y \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.62)$$

Comparando com a equação de onda (2.22), a velocidade v é:

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (2.63)$$

Esta dedução é fundamental para entender como as vibrações se propagam na estrutura do berimbau. A velocidade do som na corda de aço e na madeira do arco, governada pelo Módulo de Young e pela densidade desses materiais, influencia diretamente as frequências de ressonância do instrumento.

Para um gás ideal, a velocidade do som pode ser expressa em termos de suas propriedades termodinâmicas, como a temperatura. A equação parte da expressão geral para a velocidade do som em um fluido e incorpora a equação de estado dos gases ideais.

Começamos com a expressão geral para a velocidade do som em um fluido (2.58). Para um processo adiabático em um gás ideal, o módulo de compressão B é dado por:

$$B = \gamma P \quad (2.64)$$

Onde γ é a razão das capacidades caloríficas ($\frac{C_p}{C_v}$ onde, C_p é o calor específico molar à pressão constante, e C_v é o calor específico molar a volume constante) e P é a pressão do gás. A densidade (ρ) de um gás ideal pode ser expressa a partir da equação de estado dos gases ideais:

$$(PV = nRT) \quad (2.65)$$

Onde $n = \frac{m}{M}$ (massa sobre massa molar):

$$P = \frac{m}{V} \frac{RT}{M} \Rightarrow P = \rho \frac{RT}{M} \quad (2.66)$$

Isolando a densidade, temos:

$$\rho = \frac{PM}{RT} \quad (2.67)$$

Substituindo (2.64) e (2.67) na equação (2.58), culminamos em:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (2.68)$$

Esta dedução é crucial para entender a propagação do som do berimbau no ar ambiente. A dependência da velocidade do som na temperatura (T) é evidente na Equação (2.68). Isso oferece uma excelente oportunidade para discutir em sala de aula como a temperatura afeta a velocidade do som e a afinação de instrumentos musicais, através dos fenômenos de dilatação térmica.

Dando continuidade as propriedades das ondas sonoras, abordaremos o conceito de intensidade sonora. A percepção do som, seja ele musical ou não, está intrinsecamente ligada a conceitos físicos como intensidade e nível sonoro. Compreender esses conceitos é fundamental para analisar o funcionamento de instrumentos musicais como o berimbau e para desenvolver abordagens didáticas eficazes no ensino de física. A intensidade de uma onda sonora, por exemplo, é

definida como a taxa média de energia que atravessa uma superfície por unidade de área (HALLIDAY, RESNICK E WALKER, 2016, p. 359). Matematicamente, a intensidade I pode ser expressa como:

$$I = \frac{W}{A} \quad (2.69)$$

Onde W representa a potência da onda sonora (taxa de variação com o tempo da transferência de energia) e A é a área da superfície que intercepta essa energia. Em uma onda longitudinal, a energia é transportada por flutuações de pressão e deslocamento das partículas do meio. Para uma onda sonora senoidal, a velocidade da partícula do meio ($v_y(x, t)$) é a derivada temporal do deslocamento:

$$v_y(x, t) = \frac{\partial y}{\partial t} = \omega S_{max} \sin(kx - \omega t) \quad (2.70)$$

A flutuação de pressão causada pela compressão/rarefação é dada pela equação (2.51).

A potência instantânea por unidade de área ($W_{inst}(x, t)$), é o produto da pressão (2.51) com a velocidade da partícula (2.70):

$$W_{inst} = \frac{W}{A}(x, t) = \frac{A \cdot P(x, t) \cdot v_y(x, t)}{A} \quad (2.71)$$

$$W_{inst}(x, t) = Bk\omega S_{max}^2 \sin^2(kx - \omega t) \quad (2.72)$$

A intensidade média (I) é obtida pela média temporal da potência instantânea. Como a média de $\sin^2(kx - \omega t)$ ao longo de um período é $\frac{1}{2}$, a intensidade média é:

$$I = \langle W_{inst} \rangle = \frac{1}{2} Bk\omega S_{max}^2 \quad (2.73)$$

Podemos expressar a intensidade de outras formas, utilizando relações entre as grandezas físicas.

Em termos da amplitude de deslocamento (S_{max}):

Sabendo que $\omega = vk$, podemos substituir $k = \frac{\omega}{v}$ na equação (2.73):

$$I = \frac{1}{2} B \frac{\omega^2}{v} S_{max}^2 \quad (2.74)$$

Relembrando (2.58), temos:

$$I = \frac{1}{2} B \omega^2 \sqrt{\frac{\rho}{B}} S_{max}^2 = \frac{1}{2} \sqrt{B \rho} \omega^2 S_{max}^2 \quad (2.75)$$

Em termos da amplitude de pressão (P_{max}):

A amplitude máxima de pressão é (2.52). Elevando ao quadrado e isolando $k^2 S_{max}^2$, temos:

$$k^2 S_{max}^2 = \frac{P_{max}^2}{B^2} \quad (2.76)$$

Sabemos que $k = \frac{\omega}{v}$, então:

$$\omega^2 S_{max}^2 = \frac{P_{max}^2 v^2}{B^2} \quad (2.77)$$

Substituindo na expressão (2.75):

$$I = \frac{1}{2} \rho v \left(\frac{P_{max}^2 v^2}{B^2} \right) = \frac{1}{2} \frac{\rho v^3 P_{max}^2}{B^2} \quad (2.78)$$

Como $B = \rho v^2$:

$$I = \frac{1}{2} \frac{\rho v^3 P_{max}^2}{\rho^2 v^4} = \frac{P_{max}^2}{2 \rho v} \quad (2.79)$$

Esta é uma forma prática muito utilizada em acústica.

Além disso, a intensidade sonora varia com a distância da fonte. Para uma fonte pontual isotrópica, que emite som com a mesma intensidade em todas as direções, a intensidade diminui com o quadrado da distância r da fonte (HALLIDAY, RESNICK & WALKER, 2016, p. 360). Isso é expresso pela equação:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (2.80)$$

Onde W é a potência da fonte. Essa relação é importante para entender como o som do berimbau se propaga no ambiente e como sua intensidade percebida pode variar dependendo da distância do ouvinte. A energia do som produzido pelo berimbau, seja pela vibração da corda ou da cabaça, se propaga pelo ar. A intensidade

sonora está diretamente relacionada à amplitude de deslocamento das partículas do ar e à amplitude de pressão das ondas sonoras.

O ouvido humano é sensível a uma vasta gama de intensidades sonoras, o que torna impraticável o uso de uma escala linear para descrever a intensidade do som. Por essa razão, adota-se uma escala logarítmica, conhecida como nível da intensidade sonora, medida em decibéis (*dB*). Essa abordagem é fundamental para a compreensão da percepção sonora e tem implicações diretas no estudo de instrumentos musicais como o berimbau e no ensino de física.

O nível da intensidade sonora (β) é definido pela seguinte equação:

$$\beta = (10 \text{ dB}) \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (2.81)$$

Onde I é a intensidade da onda sonora em (W/m^2), I_0 é a intensidade de referência, que é o limiar da audição humana a 1.000 Hz, aproximadamente $10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$.

Um decibel (*dB*) é uma unidade que corresponde a um décimo de um bel, uma unidade criada em homenagem a Alexander Graham Bell. A escala logarítmica permite que uma grande variação de intensidades seja representada por uma faixa numérica mais gerenciável. Por exemplo, uma intensidade de $10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$ corresponde a 0 dB, enquanto uma intensidade de $1 \text{ W}/\text{m}^2$ (um som muito alto) corresponde a 120 dB.

A percepção da altura de um som está intrinsecamente ligada à sua frequência. A variação contínua da frequência de um som não é acompanhada por uma resposta idêntica na sensação de altura. Em vez disso, a percepção humana da altura possui uma periodicidade, onde, após um certo intervalo de variação da frequência, a sensação de altura se repete em uma nova dimensão, conhecida como oitava (LIMA, 2012).

No contexto musical, as notas são identificadas primeiramente pela sua posição na oitava (croma) e, em seguida, pela oitava em que se situam (NUSSENZVEIG, 2014). Uma oitava é um intervalo musical onde a frequência de uma nota é o dobro da frequência da nota correspondente na oitava inferior. Por exemplo, se a frequência de um Dó na oitava 4 é 261,63 Hz, o Dó na oitava 5 será 523,25 Hz (UFRGS, 2002).

Tabela 1 – Frequências fundamentais das notas musicais (Hz) (UFRGS, 2002).

Oitava	Dó	Ré	Mi	Fá	Sol	Lá	Si
Zero	16,351	18,354	20,601	21,827	24,499	27,500	30,362
Um	32,703	36,708	41,203	43,654	48,999	55,000	60,725
Dois	65,406	73,416	82,407	87,307	97,999	110,00	121,45
Três	130,81	146,83	164,81	174,61	196,00	220,00	242,90
Quatro	261,63	293,66	329,63	349,23	391,99	440,00	485,80
Cinco	523,25	587,33	659,26	698,46	783,99	880,00	971,60
Seis	1046,5	1174,7	1318,5	1396,9	1568,0	1760,0	1943,2
Sete	2093,0	2349,3	2637,0	2793,8	3136,0	3520,0	3886,4
Oito	4186,0	4698,6	5274,0	5587,7	6271,9	7040,0	7772,8
Nove	8372,0	9397,3	10548,0	11175,0	12544,0	14080,0	15546,0

Historicamente, Pitágoras já havia explorado as relações matemáticas entre as frequências de notas musicais, descobrindo que sons harmoniosos são produzidos por cordas vibrantes cujos comprimentos estão em proporções simples. A escala diatônica maior, ou escala "natural", é baseada em intervalos de frequência que refletem essas proporções simples. No entanto, para permitir transposições e evitar dissonâncias, a escala de igual temperamento foi adotada, dividindo a oitava em 12 intervalos iguais (semitons temperados), onde cada semitom corresponde a um aumento de frequência de $2^{(1/12)}$ (Nussenzveig, 2014).

A corda do berimbau, ao vibrar, gera uma frequência fundamental e uma série de harmônicos, que, juntos, definem o timbre característico do instrumento. A afinação do berimbau, que pode variar, está diretamente ligada às frequências das notas que ele é capaz de produzir. A relação entre a frequência fundamental e os harmônicos é o que permite ao berimbau gerar diferentes notas e timbres, essenciais para a sua expressividade musical e para a sua utilização como ferramenta didática no ensino de

acústica. Além disso, a onda resultante apresenta grande sensibilidade às condições iniciais impostas à vibração da corda, o que influencia de maneira significativa o timbre produzido. Entre essas condições podem ser destacadas a intensidade e o ponto de aplicação da batida, a pressão da baqueta, a tensão do arame, a temperatura ambiente e até mesmo aspectos relacionados à estrutura corporal do tocador, como sua postura e posição da cabeça em relação ao abdômen. Esses fatores tornam o som do berimbau singular em cada execução, reforçando seu potencial como objeto de estudo da acústica.

A compreensão dos fenômenos de oscilações forçadas, ressonância, e das características dos sons musicais como altura e timbre é essencial para a análise aprofundada de instrumentos musicais como o berimbau. Esses conceitos, abordados por Young & Freedman (2015) e Nussenzveig (2014), fornecem a base física para entender como o berimbau produz seu som único e como esses princípios podem ser explorados no ensino de física de forma contextualizada e culturalmente relevante.

Um sistema oscilatório, como a corda do berimbau, necessita de uma força externa para manter ou iniciar sua vibração. Quando uma força propulsora periódica é aplicada, o sistema é forçado a oscilar na frequência dessa força. No berimbau, a baqueta (vareta) que percute a corda atua como essa força propulsora. A frequência e a intensidade da percussão da baqueta determinam a frequência e a amplitude iniciais da vibração da corda. A amplitude (A) de um oscilador forçado é influenciada pela frequência da força propulsora (ω_d), pela frequência natural do sistema ($\omega' = \sqrt{k/m}$ para um oscilador simples), e pelo amortecimento (b).

A relação é dada por:

$$A = \frac{F_{max}}{\sqrt{(k - m\omega_d^2)^2 + b^2\omega_d^2}} \quad (2.82)$$

Esta equação demonstra que a amplitude é maximizada quando a frequência da força propulsora se aproxima da frequência natural do sistema.

O fenômeno da ressonância ocorre quando a frequência da força propulsora (ω_d) se aproxima ou coincide com uma das frequências naturais (modos normais, ω') de oscilação de um sistema. Nesses casos, a amplitude da oscilação do sistema aumenta drasticamente.

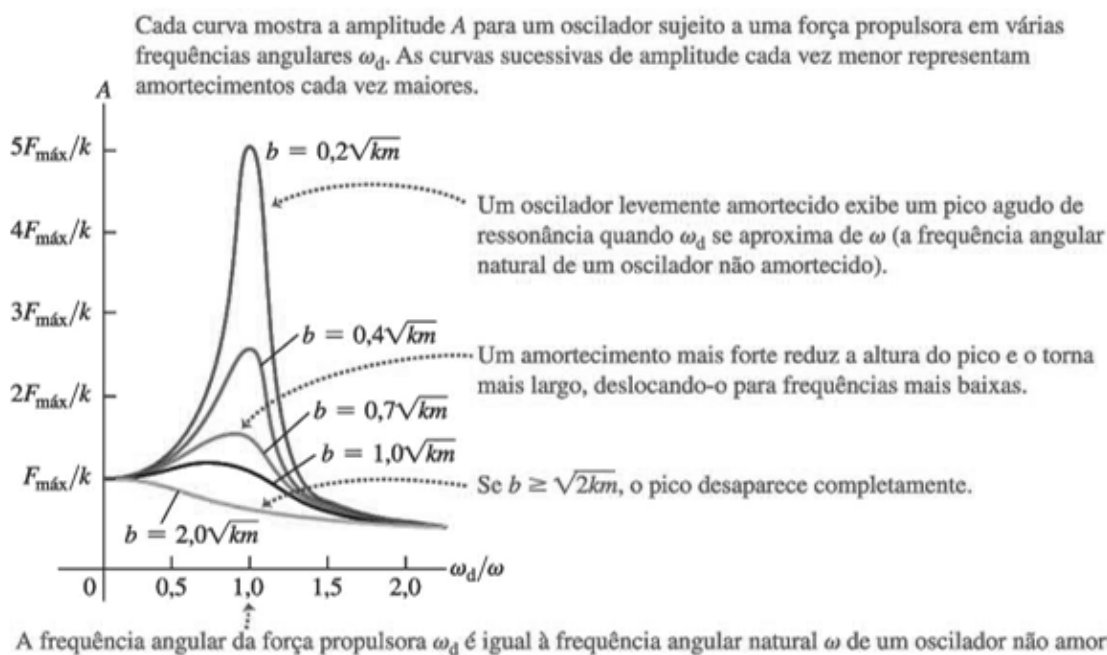


Figura 15: Gráfico da amplitude A da oscilação forçada em função da frequência angular ω_d da força propulsora (YOUNG & FREEDMAN, 2015, p.67).

Tendo explorado as ondas sonoras e os elementos gerais da acústica que se aplicam ao berimbau de barriga, é o momento de aprofundar a análise nas particularidades acústicas deste instrumento. A próxima seção será dedicada a detalhar como a interação entre seus componentes – verga, corda de aço, cabaça e dobrão – gera as características sonoras únicas do berimbau, investigando os fenômenos de ressonância e modulação que são cruciais para sua sonoridade distintiva.

2.2.3 Acústica do Berimbau

O berimbau de barriga, um instrumento musical de corda percutida de origem africana e fundamental na capoeira, transcende sua função cultural para se tornar um objeto de estudo riquíssimo no ensino de física, especialmente no campo da acústica. A sua simplicidade estrutural, aliada à complexidade dos fenômenos físicos envolvidos em sua sonoridade, oferece um laboratório prático e culturalmente relevante para a exploração de conceitos como velocidade, intensidade, interferência e ondas estacionárias, além de altura e timbre.

A produção do som no berimbau origina-se com a vibração da corda (corda de aço), que gera ondas sonoras (RIBEIRO, 2008). A velocidade dessas ondas no ar,

que é o meio de propagação primário para o som audível, é influenciada por fatores como a temperatura e a composição do ar, conforme mostra a equação (2.68). Compreender a velocidade das ondas sonoras é crucial para entender como o som se propaga do instrumento até o ouvinte. No contexto do berimbau, a velocidade de propagação da onda na corda é um fator determinante para a frequência fundamental (2.43) e os harmônicos produzidos, que por sua vez, definem a altura da nota (Tabela 1). A manipulação da tensão da corda e do ponto de contato do dobrão altera essa velocidade na corda (2.40), resultando em diferentes notas musicais. Essa relação direta entre as propriedades físicas da corda e a velocidade da onda nela é um excelente ponto de partida para discussões em sala de aula sobre a natureza das ondas e seus fatores determinantes.

A intensidade do som do berimbau, ou seja, a potência sonora que ele emite por unidade de área (2.69), é uma característica perceptível que pode ser explorada para demonstrar conceitos de energia e sua propagação. A intensidade sonora está diretamente relacionada à amplitude de vibração da corda (2.74) e, conseqüentemente, à amplitude das flutuações de pressão no ar, expresso pela equação (2.76). Quanto maior a amplitude de vibração da corda, maior a intensidade do som percebido. O nível sonoro, medido em decibéis, é uma escala logarítmica que reflete a percepção humana da intensidade, sendo mais adequada para descrever a experiência auditiva (2.81).

Quando a corda do berimbau é percutida, ela vibra e produz um som que, por si só, teria uma intensidade muito baixa. No entanto, a cabaça atua como uma caixa de ressonância, semelhante a um ressonador de Helmholtz, onde a vibração da corda excita o ar dentro da cabaça (LIMA, 2012, p.76-77). Se a frequência de vibração da corda (ou de um de seus harmônicos) coincide com as frequências naturais de ressonância do volume de ar contido na cabaça, ou da própria estrutura da cabaça ($\omega_{cabaça}$), ocorre o fenômeno da ressonância, amplificando a intensidade do som produzido pela corda, uma vez que a equação (2.73) evidencia que a intensidade sonora I é proporcional ao quadrado da amplitude de movimento, ou para ondas longitudinais, o quadrado do deslocamento máximo de partículas S_{max} . Durante a ressonância, a energia da vibração da corda é transferida de forma muito eficiente para o ar dentro da cabaça, que passa a vibrar com grande amplitude. Essa vibração amplificada do ar dentro da cabaça é então transmitida para o ambiente externo através da abertura da cabaça, resultando em um som muito mais intenso do que o

produzido apenas pela corda. Essa amplificação que confere ao berimbau seu volume característico. O amortecimento, que é a perda de energia do sistema, influencia a nitidez e a altura do pico de ressonância (Figura 15). Um amortecimento pequeno resulta em um pico de ressonância alto e nítido, enquanto um amortecimento maior produz um pico mais largo e uma amplitude máxima menor.

As condições de contorno de um sistema ressonante são cruciais para determinar suas frequências naturais de ressonância e, conseqüentemente, a amplitude e intensidade do som produzido. No caso da cabaça do berimbau, as condições de contorno são definidas pela sua forma, volume de ar interno e, principalmente, pela manipulação da sua abertura pelo tocador, que pode controlar o amortecimento e, conseqüentemente, a ressonância e o timbre do som, ao abrir e fechar a boca da cabaça contra o abdômen.

A formação de ondas estacionárias é um fenômeno presente tanto em meios transversais, como cordas vibrantes, quanto em meios longitudinais, como o ar dentro de tubos. Embora a natureza da oscilação seja diferente uma analogia rica pode ser estabelecida (HALLIDAY, RESNICK E WALKER, 2016, p. 368).

Em ambos os casos, a superposição de ondas que se propagam em sentidos opostos resulta em padrões de vibração fixos, caracterizados por nós de deslocamento (pontos de deslocamento nulo) e antinós de deslocamento (pontos de deslocamento máximo). Para ondas longitudinais em tubos, é crucial diferenciar os nós de deslocamento dos nós de pressão: um nó de deslocamento corresponde a um antinó de pressão (onde a variação de pressão é máxima), e um antinó de deslocamento corresponde a um nó de pressão (onde a variação de pressão é nula) (HALLIDAY, RESNICK E WALKER, 2016, p. 368).

As condições de contorno são o cerne da equivalência e das diferenças entre esses sistemas. Em uma corda, uma extremidade fixa impõe um nó de deslocamento, enquanto uma extremidade livre permite um antinó de deslocamento. De forma análoga, em um tubo, uma extremidade fechada atua como um nó de deslocamento (pois o ar não pode se mover através da parede), e uma extremidade aberta atua como um antinó de deslocamento (pois o ar pode se mover livremente). Essa correspondência é fundamental para determinar os modos de vibração e as frequências de ressonância permitidas em cada sistema.

Para tubos com uma extremidade aberta e uma fechada, apenas harmônicos ímpares são permitidos. As relações para o comprimento de onda λ e a frequência f são dadas por:

$$\lambda = \frac{4L}{n}, \quad n = 1,3,5 \dots; \quad f = \frac{nv}{4L}, \quad n = 1,3,5 \dots \quad (2.83)$$

onde L é o comprimento do tubo, v é a velocidade do som e n é o número do harmônico (sempre ímpar) (HALLIDAY, RESNICK E WALKER, 2016, p. 370).

Já para tubos com ambas as extremidades abertas, qualquer harmônico pode ser formado. As relações para o comprimento de onda λ e a frequência f são:

$$\lambda = \frac{2L}{n}, \quad n = 1,2,3 \dots; \quad f = \frac{nv}{2L}, \quad n = 1,2,3 \dots \quad (2.84)$$

Neste caso, n representa o número do harmônico e pode ser qualquer número inteiro positivo. As diferenças surgem na natureza da onda (transversal vs. longitudinal) e nas grandezas físicas que oscilam (posição da partícula vs. pressão e deslocamento do ar), mas a estrutura fundamental dos padrões estacionários e a influência das condições de contorno permanecem consistentes, permitindo uma compreensão unificada desses fenômenos ondulatórios (HALLIDAY, RESNICK E WALKER, 2016, p. 370).

Quando a cabaça está completamente aberta, ela funciona como um ressonador de Helmholtz, com uma abertura livre (LIMA,2012, p.76-78). As frequências de ressonância do ar dentro dela são determinadas pelo seu volume e pela área da abertura. Nesse estado, a cabaça ressoa em certas frequências, amplificando o som da corda que corresponde a essas frequências. A amplitude das ondas sonoras geradas é maximizada para essas frequências de ressonância.

Ao encostar a cabaça no corpo, o tocador altera as condições de contorno da abertura. Isso efetivamente muda o volume de ar ressonante e a área da abertura, o que, por sua vez, modifica as frequências naturais de ressonância da cabaça. A mudança no volume e na abertura da cabaça desloca as frequências em que ela ressoa mais eficientemente. Isso permite ao tocador selecionar quais harmônicos da corda serão amplificados. O contato com o corpo do tocador introduz um amortecimento adicional ao sistema, conseqüentemente, ao variar o grau de contato, o tocador pode controlar a "nitidez" da ressonância e a duração do som. Ao encontrar a posição ideal que permite a máxima ressonância com a frequência da corda, o

tocador maximiza a transferência de energia. Por outro lado, ao abafar a cabaça, o tocador impede a ressonância eficiente, diminuindo drasticamente a intensidade sonora.

Portanto, a manipulação da cabaça pelo tocador é uma aplicação prática do controle das condições de contorno de um ressonador. Essa interação dinâmica é o que permite ao berimbau produzir sua rica variedade de sons e é um excelente exemplo para demonstrar os princípios de ressonância e a influência das condições de contorno na produção sonora em um contexto de ensino de física.

O som característico do berimbau é resultado direto dos fenômenos de interferência e ondas estacionárias. Quando a corda do berimbau é percutida, ondas se propagam ao longo dela e são refletidas nas extremidades fixas. A superposição dessas ondas incidentes e refletidas gera padrões de ondas estacionárias (2.38). A interferência construtiva e destrutiva entre essas ondas cria pontos de máximo deslocamento (ventres) e mínimo deslocamento (nós) na corda (Figura 14). A formação desses padrões de ondas estacionárias é o que permite que a corda vibre em frequências específicas, conhecidas como harmônicos. A frequência fundamental e seus harmônicos são responsáveis pela altura da nota e pelo timbre do berimbau. A exploração visual e auditiva desses padrões no berimbau, por exemplo, ao observar os diferentes modos de vibração da corda para diferentes notas (Figura 14), oferece uma oportunidade única para os estudantes compreenderem a relação entre a geometria do instrumento, as propriedades da corda e a produção de sons complexos.

As características de altura e timbre são essenciais para a identidade sonora do berimbau e são diretamente explicáveis pelos conceitos físicos. A altura de um som é a percepção que nos permite classificá-lo como “grave” ou “agudo”, e está diretamente relacionada à frequência da onda sonora. Sons com frequências mais baixas são graves, e com frequências mais altas são agudos. No berimbau, a altura das notas é controlada principalmente pela tensão da corda de aço e pelo ponto onde o dobrão é pressionado, alterando o comprimento efetivo da corda e, conseqüentemente, sua frequência de vibração. Ao alterar a tensão da corda ou o ponto de contato do dobrão, o tocador modifica o comprimento efetivo da corda e, conseqüentemente, sua frequência de vibração, produzindo diferentes notas (alturas). Essas relações entre frequência, tensão e comprimento da corda estão expressa nas equações (2.3)(2.27)(2.39)

O timbre é a identidade sonora que nos permite distinguir sons de mesma altura e intensidade, mas de fontes diferentes. Ele é determinado pela presença e intensidade dos harmônicos que acompanham a frequência fundamental. Um som musical é uma combinação da frequência fundamental com múltiplos inteiros dessa frequência. A combinação e a intensidade relativa desses harmônicos criam a "cor" única de cada som. No berimbau, o timbre é influenciado por algumas características como, o material e tensão da corda de aço, que afetam a vibração e os harmônicos gerados, a cabaça como ressonador, amplificando e atenuando certas frequências (harmônicos), a manipulação da cabaça contra o corpo do tocador, além do ponto de percussão que influencia a excitação de diferentes harmônicos, adicionado ao uso do Caxixi, que enriquece o timbre.

A utilização do berimbau de barriga como ferramenta didática no ensino de física para o ensino médio vai além da mera ilustração de conceitos. Ela permite uma abordagem interdisciplinar que conecta a física com a cultura afro-brasileira, tornando o aprendizado mais cativante. O instrumento oferece uma oportunidade única para transformar o ensino de física em uma experiência mais dinâmica, relevante e inclusiva, permitindo que os estudantes compreendam os princípios da acústica de forma prática e contextualizada, ao mesmo tempo em que valorizam a riqueza da cultura brasileira.

A presente seção estabeleceu o referencial teórico fundamental da ondulatória e acústica, detalhando os princípios que regem a propagação das ondas e a produção sonora, com destaque na descrição matemática e nas suas implicações para a compreensão do funcionamento do berimbau. Ao esclarecer a física por trás dos fenômenos vibracionais e acústicos do instrumento, criamos uma base sólida para a próxima etapa desta pesquisa. Com essa compreensão científica aprofundada, o capítulo subsequente, estabelecerá um consistente referencial didático-pedagógico, dedicado a explorar como esses conceitos podem ser transpostos para o ambiente educacional, propondo abordagens e estratégias que utilizem o berimbau como uma ferramenta didática eficaz para o ensino de física, conectando a teoria à prática pedagógica de forma significativa.

3 Referencial didático-pedagógico: os três momentos pedagógicos de delizoicov.

Ao eleger os Três Momentos Pedagógicos (3MP) como eixo estruturante para a proposta de ensino de física mediada pelo berimbau, busco uma abordagem que supere a mera transmissão de conteúdo. A potencialidade desta metodologia, reside, a meu ver, na sua capacidade de articular o conhecimento científico com a cultura afro-brasileira e as especificidades do Recôncavo Baiano, fomentando uma perspectiva crítica sobre a realidade.

Devido à dificuldade em acessar algumas referências específicas de grande relevância para uma compreensão mais aprofundada dos 3MP, como os livros “Metodologia do ensino de Ciências” (DELIZOICOV & ANGOTTI, 1990a) e “Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos” (DELIZOICOV, ANGOTTI & PERNAMBUCO 2002), a busca por fundamentação teórica para a proposta de ensino de física contextualizado culturalmente através da análise do berimbau de barriga, partiu de uma preferência por pesquisas que abordavam a metodologia de três momentos pedagógicos. Após uma pesquisa em periódicos de ciências, revistas de ciência e revistas de ensino, foram selecionados 9 artigos de interesse para leitura e análise. Contudo, foram analisados outros 3 livros considerados de extrema importância para fundamentação metodológica dos 3MP. “Pedagogia do Oprimido” (FREIRE, 1987), onde Paulo Freire desconstrói a concepção “bancária” de educação, propondo em seu lugar uma educação problematizadora que surge do diálogo sobre a realidade concreta. “Educação e Mudança” (FREIRE, 2020), obra na qual Freire argumenta que a educação é sempre um ato político, e que o compromisso autêntico do profissional, especialmente o educador, exige uma práxis engajada com a realidade concreta. E por fim, no livro “Física” (DELIZOICOV & ANGOTTI, 1990b), os autores propõem uma abordagem para o ensino de física no 2º grau que, partindo de um tema central relevante (como a energia elétrica) e articulada por conceitos unificadores, estrutura o aprendizado através de uma dinâmica problematizadora e dialógica.

Os artigos escolhidos para análise, foram: “Alfabetização científica no contexto das séries iniciais” (LORENZETTI & DELIZOICOV, 2001), “Alfabetização Científico-Tecnológica: para quê?” (AULER & DELIZOICOV, 2001), “Freire e Vygotsky: um diálogo com pesquisas e sua contribuição na Educação em Ciências.” (GEHLEN, MALDANER & DELIZOICOV, 2010), “Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a educação em ciências.”

(GEHLEN, MALDANER & DELIZOICOV, 2012), “A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos.” (MUENCHEN, DELIZOICOV, 2012), “O papel do problema no ensino de ciências: compreensões de pesquisadores que se referenciam em Vygotsky.” (GEHLEN & DELIZOICOV, 2013), “Contextualização na formação inicial de professores de ciências e a perspectiva educacional de Paulo Freire.” (FERNANDES, MARQUES & DELIZOICOV, 2016), “Proposições de inovação didática na perspectiva dos Três Momentos Pedagógicos: tensões de um processo formativo. (ABREU & FREITAS, 2017) e “Abordagem dialógico-problematizadora e interdisciplinar envolvendo mediação tecnológica, Ciências e Educação Física: análises e reflexões para uma educação emancipatória no ensino fundamental II” (LARANJO & SAAVEDRA FILHO, 2024).

Para uma discussão mais clara da literatura selecionada, foram designadas quatro categorias nas quais as obras foram organizadas de acordo com sua ideia central. Essas categorias são: **Categoria I - Diálogo Freire-Vygotsky** (GEHLEN, MALDANER & DELIZOICOV, 2010; GEHLEN, MALDANER & DELIZOICOV, 2012; GEHLEN & DELIZOICOV, 2013); **Categoria II - Alfabetização Científica e Relações Ciência-Tecnologia-Sociedade** (LORENZETTI & DELIZOICOV, 2001; AULER & DELIZOICOV, 2001); **Categoria III - Fundamentos e Estrutura dos 3MP** (FREIRE, 1970; FREIRE 1979; DELIZOICOV & ANGOTTI, 1990b; MUENCHEN, DELIZOICOV, 2012; FERNANDES, MARQUES & DELIZOICOV, 2016); **Categoria IV - Implementação, Desafios e Práticas com os 3MP** (ABREU & FREITAS, 2017; LARANJO & SAAVEDRA FILHO, 2024).

A seguir, iniciaremos as discussões a partir da primeira categoria:

3.1 DIÁLOGO FREIRE-VYGOTSKY

O diálogo entre Freire e Vygotsky oferece uma estruturação teórico-metodológico potente para o ensino de física através do berimbau, articulando a problematização da realidade cultural (Freire) com a significação conceitual mediada por signos (Vygotsky), de modo que o instrumento afro-brasileiro supera sua função de exemplo didático para se estabelecer como problema autêntico que estrutura o conhecimento científico, abrangendo a dimensão crítico-política da educação

freireana com a construção social dos conceitos científicos na perspectiva vygotskyana.

O trabalho intitulado de "Freire e Vygotsky: um diálogo com pesquisas e sua contribuição na Educação em Ciências" de Gehlen, Maldaner e Delizoicov (2010) realiza uma revisão de estudos que buscam articular o pensamento desses dois autores na educação escolar. Os autores apontam, que embora Freire e Vygotsky sejam frequentemente referenciados no ensino de ciências, muitas vezes suas ideias são exploradas de forma isolada (GEHLEN, MALDANER & DELIZOICOV, 2010). A articulação entre eles oferece um potencial teórico muito rico para pensar uma prática pedagógica que seja ao mesmo tempo crítica, dialógica, culturalmente situada e focada na construção de conhecimento científico.

Tanto Freire quanto Vygotsky dão grande importância à linguagem. Para Vygotsky, a palavra é fundamental na construção das funções psicológicas superiores e na relação entre pensamento e linguagem. Para Freire, a palavra está ligada à ação e reflexão (práxis) e tem o poder de transformar o mundo. Moura (2001, *apud* GEHLEN, MALDANER & DELIZOICOV, 2010) sintetiza essa conexão ao afirmar que "a linguagem assume um papel específico na abordagem vygotskyana e freireana". Para Freire, a palavra é mediadora do homem com o mundo, ligada à ação e reflexão; para Vygotsky, está associada à construção de sistemas lógicos de pensamento. A linguagem assume uma dupla função – como ferramenta de pensamento e como instrumento de ação no mundo.

O artigo aponta que, para ambos os autores, o conhecimento não é algo pronto a ser transmitido, mas construído na interação. Vygotsky enfatiza a mediação (por instrumentos e signos) na relação sujeito-objeto. Freire, por sua vez, critica a "educação bancária" e defende uma concepção dialógica, onde educador e educando aprendem juntos na relação com o mundo. Essa visão compartilhada da construção do conhecimento e da importância da mediação (seja pelo signo vygotskyano ou pelo diálogo freireano) pode enriquecer os Três Momentos Pedagógicos, que buscam justamente promover essa construção ativa a partir da realidade dos estudantes.

Gehlen, Maldaner e Delizoicov (2010) criticam o fato de que muitos estudos que articulam Freire e Vygotsky não dão uma atenção devidamente apropriada à problematização, categoria essencial em Freire. A problematização é o ponto de partida dos 3MP e da proposta com o berimbau. É a partir da problematização da realidade (o som do berimbau, sua física, sua cultura) que se pode despertar a

curiosidade e a necessidade de buscar o aprimoramento do conhecimento científico. O artigo reforça a importância de não negligenciar essa dimensão crítica e política da educação, presente em Freire.

Por outro lado, os autores observam que os estudos também exploram pouco a significação conceitual baseada em Vygotsky. Eles argumentam que essas duas categorias – problematização (Freire) e significação conceitual (Vygotsky) – são promissoras para as mudanças necessárias no ensino de ciências.

A leitura deste artigo reforça a ideia de que o diálogo entre Freire e Vygotsky é um caminho teórico fértil para pesquisa. Ele propicia a pensar uma prática pedagógica que:

1. Parta da problematização da realidade cultural e social dos alunos (o berimbau no Recôncavo Baiano), como propõe Freire.
2. Utilize a linguagem (verbal, musical, científica) como ferramenta de mediação e construção do pensamento, como aponta Vygotsky.
3. Promova a significação conceitual dos conhecimentos físicos, articulando-os com a experiência e a cultura dos estudantes, em um processo dialógico.
4. Busque a transformação da realidade através da ação-reflexão (práxis), como defende Freire, mobilizando o conhecimento físico em novas situações.

Acredito que articular essas perspectivas, especialmente no contexto dos Três Momentos Pedagógicos, pode contribuir com a construção de uma proposta de ensino de física mais significativa, crítica e culturalmente relevante. Essa ideia é reforçada quando levado em consideração a leitura do artigo seguinte.

“Momentos Pedagógicos e as etapas da situação de estudo: Complementaridades e contribuições para a educação em ciências” de Gehlen, Maldaner & Delizoicov (2012) apresenta uma análise produtiva realizada pelos autores sobre as possíveis complementaridades entre a abordagem temática freireana, que utiliza os 3MP, e a proposta da Situação de Estudo, fundamentada em Vygotsky (GEHLEN, MALDANER & DELIZOICOV, 2012). Essa discussão parece fundamental na busca por articular uma abordagem pedagógica dialógica, inspirada na visão freireana, com a construção de conceitos científicos, onde Vygotsky pode oferecer insights valiosos.

Os autores destacam que, enquanto a abordagem freireana, com os 3MP, foca mais na dinâmica pedagógica e na transformação da realidade, a Situação de Estudo parece privilegiar a questão da significação conceitual, tendo uma preocupação mais cognitiva. No entanto, eles sinalizam que há complementaridade entre as propostas. A ideia central extraída desse artigo é que as etapas da Situação de Estudo – problematização, primeira elaboração, função da elaboração e compreensão conceitual – podem contribuir no contexto dos 3MP, especialmente potencializando o momento da Organização do Conhecimento (GEHLEN, MALDANER & DELIZOICOV, 2012).

Isso indaga em como o educador pode estruturar o segundo momento pedagógico (Organização do Conhecimento) após problematizar o berimbau de barriga e suas características acústicas. Ao invés de apenas apresentar os conceitos físicos de forma expositiva, é possível incorporar as etapas da Situação de Estudo para promover uma construção mais significativa desses conceitos. Por exemplo, após a Problematização Inicial com o berimbau, poderíamos inserir uma "primeira elaboração" onde os alunos expõem suas ideias iniciais sobre o som do instrumento, seguida da "função da elaboração" onde buscamos os conceitos físicos necessários (ondas, frequência, ressonância), culminando na "compreensão conceitual" articulada com o fenômeno observado.

O artigo retoma a caracterização dos 3MP, o que reforça a compreensão da metodologia:

Problematização Inicial: Apresentar situações reais ligadas ao tema (o berimbau, seus sons, sua construção) e desafiar os alunos a exporem o que pensam, criando um distanciamento crítico e a necessidade de buscar novos conhecimentos. Como Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002, p. 201 *apud* GEHLEN, MALDANER & DELIZOICOV 2012) colocam, a finalidade é "propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão e fazer com que ele reconheça a necessidade de se obterem novos conhecimentos".

Organização do Conhecimento: Momento de estudar, com a orientação do professor, os conhecimentos científicos (Movimento Harmônico, Ondulatória, Acústica) necessários para compreender a problematização inicial.

Aplicação do Conhecimento: Utilizar o conhecimento físico incorporado para analisar e interpretar as situações iniciais (o som do berimbau) e outras situações (outros instrumentos, fenômenos sonoros e ondulatórios).

Os autores também mencionam que na abordagem temática freireana, o processo de seleção dos temas a serem tratados no contexto escolar diferencia-se da Situação de Estudo, pois na primeira se constitui na dinâmica da investigação temática (FREIRE, 1987 *apud* GEHLEN, MALDANER & DELIZOICOV 2012). Embora essa pesquisa não realize uma investigação temática completa nos moldes freireanos, a escolha do berimbau como tema central se justifica por sua relevância étnico-cultural no contexto do Recôncavo Baiano e sua potencialidade para o ensino de física, dialogando com o espírito da abordagem temática.

A ideia de complementaridade entre Freire e Vygotsky, explorada no artigo, se mostra muito rica. Enquanto Freire oferece a base para uma prática pedagógica dialógica, crítica e contextualizada culturalmente, Vygotsky, através da Situação de Estudo, fornece ferramentas para pensar mais especificamente sobre o processo de desenvolvimento dos conceitos científicos pelos estudantes durante a Organização do Conhecimento.

É de grande importância compreender qual a função do problema na visão vygotskyana, por tanto, GEHLEN & DELIZOICOV em "O papel do problema no ensino de ciências: compreensões de pesquisadores que se referenciam em Vygotsky" (2013) analisam como pesquisadores brasileiros da área de ensino de ciências, que utilizam Vygotsky como referencial teórico, compreendem e caracterizam o problema e sua função em atividades didático-pedagógicas.

Os autores, com base em pesquisas anteriores, "revelam que o problema na pesquisa em educação em ciências tem se apresentado de duas formas: como estruturação curricular, em que o conteúdo programático é organizado com base em temas, e artifício didático-pedagógico, vinculado especialmente à conceituação científica" (GEHLEN & DELIZOICOV, 2011; GEHLEN, 2009, *apud* GEHLEN & DELIZOICOV, 2013). Os autores organizaram os trabalhos analisados em seis grupos, conforme a função atribuída ao problema:

Quadro 1: Distribuição dos trabalhos selecionados por grupo
(GEHLEN, 2009 *apud* GEHLEN & DELIZOICOV, 2013).

Grupos	Total de Trabalhos	
	Nº	%
Problematização ¹	11	25
Interações discursivas	11	25
Resolução de problemas	7	15,9
Temas transversais	6	13,6
Situações de vivência	5	11,4
Problema como seleção e estruturação de conceitos	4	9,1
Total	44	100

Esta categorização ajuda a situar a presente proposta, que dialoga principalmente com os grupos de Problematização e Situações de vivência, uma vez que se busca partir de situações concretas relacionadas ao berimbau para problematizar conceitos físicos.

Um aspecto relevante no artigo é a discussão sobre como o problema pode ser compreendido a partir da perspectiva vygotskyana. Segundo Gehlen (2009), citada no artigo, Vygotsky não esclarece a abordagem dos problemas no contexto educacional, mas apresenta elementos relacionados à dimensão epistemológica da noção de problema em suas obras. Esta constatação leva a refletir sobre como articular a perspectiva vygotskyana com a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos que fundamenta essa pesquisa.

Na análise dos trabalhos, os autores identificaram que a maioria dos pesquisadores utiliza critérios relacionados aos conceitos científicos para a escolha dos problemas que orientam as atividades didático-pedagógicas. No entanto, alguns pesquisadores começam a perceber que o problema tem um papel na seleção e organização dos conceitos científicos, perspectiva que se aproxima mais da noção de problema apresentada na obra de Vygotsky.

Ao articular esta perspectiva com a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos, percebo que o primeiro momento (problematização inicial) ganha uma dimensão epistemológica mais profunda, não se limitando a uma estratégia didática, mas se configurando como elemento estruturador do próprio conhecimento a ser

construído. O berimbau, como instrumento cultural afro-brasileiro, se torna assim não apenas um contexto motivador, mas um problema autêntico que orienta todo o processo de ensino-aprendizagem.

Outro ponto importante que é extraído do artigo é a compreensão de que o problema, na perspectiva vygotskyana, está intimamente relacionado com a formação de conceitos com apropriação mediada por signos. Isto reforça minha escolha de trabalhar com o berimbau como mediador cultural no ensino de física, possibilitando a articulação entre conceitos cotidianos, relacionados à prática cultural da capoeira, e conceitos científicos, relacionados à física das ondas e acústica.

A centralidade da problematização, herança freireana fundamental para os 3MP, é um assunto tratado em vários textos. Contudo, a forma como essa problematização se articula com a construção conceitual vygotskyana merece um olhar mais atencioso. Gehlen, Maldaner & Delizoicov (2010) apontam que muitos estudos negligenciam ou a problematização freireana ou a significação conceitual vygotskyana. Gehlen & Delizoicov (2013), ao analisarem o papel do problema na perspectiva vygotskyana, parecem focar mais na sua função de desequilíbrio cognitivo e motor para a formação de conceitos. Já Fernandes, Marques & Delizoicov (2016), ao discutirem a contextualização na perspectiva freireana, reforçam a dimensão social e política da problematização como leitura crítica do mundo. Muenchen & Delizoicov (2012), por sua vez, situam o problema como elemento de provocação do diálogo e da construção coletiva. Existe, portanto, uma tensão produtiva: a problematização nos 3MP deve ser apenas um gatilho cognitivo para introduzir conceitos científicos (visão mais alinhada a certas leituras de Vygotsky) ou deve manter sua raiz freireana de análise crítica da realidade, onde o conceito científico surge como ferramenta para compreender e, potencialmente, transformar essa realidade? Acredito que a força dos 3MP reside justamente na tentativa de manter essa dupla dimensão, utilizando a análise crítica do contexto (o berimbau, sua história, sua cultura, sua física) como motor para a busca e significação dos conceitos científicos, sem reduzir um ao outro.

A articulação entre Freire e Vygotsky, explorada por Gehlen, Maldaner & Delizoicov (2010; 2012), é relevante para a fundamentação dos 3MP. Enquanto Freire oferece a base político-pedagógica da dialogicidade, da problematização e da práxis transformadora, Vygotsky contribui com a compreensão dos processos de mediação por signos e a construção de conceitos científicos. No entanto, essa articulação não é isenta de discordâncias. A ênfase freireana na leitura de mundo e na transformação

social pode, por vezes, parecer distante da ênfase vygotskyana na internalização de conceitos científicos e no desenvolvimento das funções psicológicas superiores. Os 3MP tentam navegar nessas discordâncias: a Problematização (1º Momento) apoia-se em Freire; a Organização do Conhecimento (2º Momento) busca a significação conceitual, aproximando-se de Vygotsky; e a Aplicação do Conhecimento (3º Momento) retoma a perspectiva da práxis freireana. A discussão de Gehlen, Maldaner & Delizoicov (2012) sobre a complementaridade com as etapas da Situação de Estudo (mais focada na cognição vygotskyana) pode enriquecer o 2º Momento, mas é crucial que isso não enfraqueça a dimensão crítica e dialógica que permeia toda a proposta dos 3MP. A mediação tecnológica, que será abordada a seguir, na discussão do trabalho de Laranjo & Saavedra Filho (2024), também se insere nesse diálogo, podendo ser vista tanto como ferramenta vygotskyana para a construção conceitual quanto como elemento a ser problematizado criticamente na perspectiva CTS/Freireana.

3.2 ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA E RELAÇÕES CIÊNCIA-TECNOLOGIA-SOCIEDADE

A Alfabetização Científica e as relações Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) são dimensões fundamentais para uma educação científica libertadora, superando a mera aquisição de conceitos para promover uma compreensão mais crítica da ciência. Ao articular essas dimensões com os 3MP, se torna possível a desmistificação das visões tecnocráticas, salvacionistas e deterministas da tecnologia, valorizando o diálogo entre o conhecimento científico e os saberes culturais no contexto do ensino de física.

Ao aprofundar a pesquisa para o ensino de física através do berimbau e a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), a questão da Alfabetização Científica (AC) se tornou central. O artigo "Alfabetização científica no contexto das séries iniciais" de Leonir Lorenzetti e Demétrio Delizoicov (2001) ofereceu uma base conceitual importante, mesmo que focado nas séries iniciais, pois discute a própria natureza e os objetivos da AC de uma forma que, particularmente, considero essencial para qualquer nível de ensino.

O artigo inicia justamente apontando a polissemia do termo "alfabetização científica", que pode significar coisas diferentes para pessoas diferentes (Bingle &

Gaskell, 1994, *apud* LORENZETTI; DELIZOICOV, 2001). Isso traz a reflexão sobre qual o objetivo ao buscar a AC dos alunos através do estudo do berimbau. Não se trata apenas de "transmitir" conceitos de física, mas de promover uma compreensão mais ampla das ciências e suas relações com a tecnologia e a sociedade, algo que os autores destacam como fundamental para a formação da cidadania.

Lorenzetti e Delizoicov (2001) resgatam as três noções de AC propostas por Shen (1975 *apud* LORENZETTI; DELIZOICOV, 2001). A primeira delas é "AC Prática" que está relacionada às necessidades básicas da vida, como saúde e alimentação. Permite tomar decisões conscientes no dia a dia. Ao estudar a física do berimbau (ondas, som, ressonância), busco também essa dimensão prática, mostrando como esses conceitos se aplicam a outros fenômenos sonoros ou tecnologias do cotidiano relacionados a nossas necessidades básicas, ao exemplo da ressonância e suas aplicações na área de saúde.

A segunda é "AC Cívica" que capacita o cidadão a participar de debates e tomar decisões sobre questões públicas envolvendo ciência e tecnologia. Como destacam os autores, "o cidadão é capacitado a 'tornar-se mais informado sobre a ciência e as questões relacionadas a ela, tanto que ele e seus representantes possam trazer seu senso comum para apreciá-lo e, desta forma, participar mais intensamente no processo democrático de uma sociedade crescentemente tecnológica'" (Shen, 1975, p. 266, *apud* LORENZETTI & DELIZOICOV, 2001). Ao discutir a história do berimbau, sua relação com a capoeira, a resistência cultural e as leis como a 10.639/03, trabalharemos essa dimensão política, conectando a ciência com questões sociopolíticas.

Por último a "AC Cultural" que se refere ao desejo de conhecer a ciência como uma grande realização humana, como parte da cultura. Os autores citam Shen (1975 *apud* LORENZETTI & DELIZOICOV, 2001) ao dizer que "ela é para a ciência, o que a apreciação da música é para o músico. Ela não resolve nenhum problema prático diretamente, mas ajuda abrir caminhos para a ampliação entre as culturas científicas e humanísticas" (SHEN, 1975, p.267 *apud* LORENZETTI & DELIZOICOV, 2001). Essa dimensão é particularmente importante para a presente proposta, pois é de extrema importância a valorização do berimbau não só como objeto de estudo físico, mas como patrimônio cultural, capaz de promover um diálogo entre a cultura científica e a cultura afro-brasileira.

Além de Shen, os autores trazem as dimensões propostas por Bybee (1995, *apud* LORENZETTI & DELIZOICOV, 2001), que também contribuem com o pensar sobre a complexidade da AC:

AC Funcional: Aquisição de vocabulário e conceitos básicos; AC Conceitual e Processual: Compreensão de conceitos, processos e relações da ciência e tecnologia; AC Multidimensional: Capacidade de aplicar conhecimentos em diferentes contextos e na solução de problemas, incluindo a compreensão da natureza da ciência e sua história.

O artigo enfatiza que a AC não é um estágio terminal, mas uma "atividade vitalícia" (LORENZETTI; DELIZOICOV, 2001). Defendem que a AC deve ultrapassar "a mera reprodução de conceitos científicos, destituídos de significados, de sentidos e de aplicabilidade" (LORENZETTI; DELIZOICOV, 2001).

Lorenzetti e Delizoicov (2001) também criticam a visão de que a AC ocorre apenas na escola, destacando a importância dos espaços não formais. Ao mesmo tempo, ressaltam o papel crucial da escola em "propiciar iniciativas para que os alunos saibam como e onde buscar os conhecimentos que necessitam para a sua vida diária" e em "elaborar estratégias para que os alunos possam entender e aplicar os conceitos científicos básicos nas situações diárias" (LORENZETTI; DELIZOICOV, 2001).

Este artigo se fez fundamental por contribuir com uma definição mais clara sobre o que entendo por AC. Não limito a busca apenas pela dimensão funcional ou conceitual, mas uma AC que englobe as dimensões prática, cívica e cultural, numa perspectiva multidimensional. É importante que os educandos, ao estudarem o berimbau, compreendam os conceitos físicos envolvidos (AC Funcional e Conceitual), percebam a aplicação desses conceitos em seu cotidiano (AC Prática), reflitam sobre as relações entre ciência, tecnologia, cultura e sociedade a partir da história e do uso do instrumento (AC Cívica e CTS), e valorizem o conhecimento científico e o saber cultural como produções humanas importantes (AC Cultural).

"Alfabetização Científico-Tecnológica: para quê?" de Décio Auler e Demétrio Delizoicov (2001) se mostrou extremamente relevante por provocar a refletir sobre o próprio significado de "alfabetização científico-tecnológica" (ACT) e sobre as visões deformadas da ciência e da tecnologia que muitas vezes permeiam o senso comum e até mesmo o ambiente escolar.

Os autores iniciam discutindo como a ACT é defendida, mas com objetivos muito variados, que vão desde a busca por uma participação democrática em

questões de Ciência-Tecnologia (CT) até a simples legitimação das decisões tecnocráticas. Essa ambiguidade alerta para a necessidade de clareza sobre qual ACT busco promover com essa pesquisa. Não se trata apenas de ensinar os conceitos físicos relacionados ao berimbau, mas de fomentar uma compreensão crítica das relações entre ciência, tecnologia e sociedade (CTS) que reconheça e valorize a profundidade da dimensão cultural, étnica, social e histórica deste instrumento.

Auler e Delizoicov (2001) argumentam que uma visão reducionista da ACT não leva em consideração as construções históricas implícitas à produção do conhecimento científico-tecnológico, levando à concepção de neutralidade da CT. Essa ideia de neutralidade, segundo eles, está na base de vários "mitos" que precisam ser problematizados.

Os autores destacam três mitos principais, derivados do "mito original" da neutralidade:

1. Superioridade do Modelo de Decisões Tecnocráticas: A crença de que as decisões sobre CT devem ser tomadas exclusivamente por especialistas, pois eles deteriam o conhecimento técnico "neutro" e "eficiente" para encontrar a "solução ótima". Essa visão, como apontam Auler e Delizoicov (2001, p. 124), citando Pacey (1990), "praticamente não deixa espaço para a democracia nas decisões que afetam a tecnologia" (PACEY, 1990, *apud* AULER & DELIZOICOV, 2001). Problematizar esse mito é fundamental nessa proposta, pois valoriza o diálogo entre o saber científico e os saberes culturais e populares relacionados ao berimbau, e não impor uma visão puramente técnica.
2. Perspectiva Salvacionista da CT: A ideia de que a CT é a solução para todos os problemas da humanidade, conduzindo necessariamente ao progresso e ao bem-estar social. Os autores contestam essa visão, afirmando que "o desenvolvimento científico-tecnológico não pode ser considerado um processo neutro que deixa intactas as estruturas sociais sobre as quais atua" e que "o progresso científico e tecnológico não coincide necessariamente com o progresso social e moral" (AULER & DELIZOICOV, 2001).
3. Determinismo Tecnológico: Segundo Gómez (1997 *apud* AULER & DELIZOICOV, 2001), essa é a concepção de que a tecnologia é autônoma,

independente das influências sociais, e que ela é a principal causa da mudança social (GÓMEZ, 1997 *apud* AULER & DELIZOICOV, 2001). Os autores argumentam, baseados em Sanmartín (1990), que essa visão se configura como algo isolado, quase uma "superteoria" do progresso (SANMARTIN, 1990 *apud* AULER & DELIZOICOV, 2001). Contrapor-se a esse mito significa entender que a tecnologia é uma construção social, influenciada por fatores culturais, étnicos, econômicos e políticos, e que também influencia a sociedade de maneiras complexas e não lineares.

Refletir sobre esses mitos, como propõem os autores, não é ser "anti-ciência" ou "anti-tecnologia", mas buscar "a construção de uma imagem mais realista da atividade científico-tecnológica" (AULER; DELIZOICOV, 2001).

A discussão inicial sobre Alfabetização Científica, baseada em Lorenzetti & Delizoicov (2001), apresenta as dimensões de Shen (1975 *apud* LORENZETTI & DELIZOICOV, 2001) (Prática, Cívica, Cultural) e Bybee (1975, *apud* LORENZETTI & DELIZOICOV, 2001) (Funcional, Conceitual, Multidimensional). Embora essas categorizações sejam úteis para balizar os objetivos da AC, a análise de Auler & Delizoicov (2001) sobre os mitos da neutralidade científico-tecnológica adiciona uma camada crítica essencial. Colocar esses textos em diálogo revela uma tensão: uma AC que se limite às dimensões de Shen ou aos níveis de Bybee, sem incorporar a crítica CTS proposta por Auler & Delizoicov (*idem*), corre o risco de reproduzir, ainda que involuntariamente, alguns dos mitos que busca combater. Por exemplo, uma AC "Prática" ou "Funcional" sem uma análise crítica das relações de poder e dos interesses sociais que moldam a tecnologia pode reforçar a visão salvacionista ou tecnocrática. Portanto, uma AC verdadeiramente multidimensional e culturalmente relevante, como o esperado para o estudo do berimbau, precisa integrar a crítica CTS de forma intrínseca, não como um complemento.

3.3 FUNDAMENTOS E ESTRUTURA DOS 3MP

Ao mergulhar na leitura de "Pedagogia do Oprimido" (1987), uma das principais obras de Paulo Freire, percebo o quão fundamental esta é para fundamentar os Três Momentos Pedagógicos (3MP). Freire não oferece apenas uma crítica convincente à

educação tradicional, que ele denomina "bancária", mas também descreve os princípios de uma educação verdadeiramente libertadora, centrada no diálogo e na ação-reflexão (práxis) transformadora.

A crítica à educação "bancária" reflete profundamente os desafios a serem superados no ensino de física. Essa abordagem, na qual o educador "deposita" conteúdos nos educandos, vistos como recipientes vazios, passivos e ignorantes, alimenta a opressão por negar a capacidade criadora e a historicidade dos sujeitos. Essa é uma abordagem que o dociliza, em vez de libertar, mantendo a contradição educador-educando e servindo aos interesses dominantes (FREIRE, 1970, cap. 2). Essa crítica justifica a busca por alternativas como os 3MP, que rompem com essa lógica vertical.

Confrontando a educação "bancária", Freire propõe a educação problematizadora, que se fundamenta no diálogo. O diálogo autêntico, para ele, não é meramente um bate-papo, mas o encontro entre sujeitos mediado pelo mundo, para pronunciá-lo e transformá-lo. É em relações dialógicas que educador e educandos juntos se tornam investigadores da realidade, superando a contradição anterior e se educando mutuamente (FREIRE, 1970, cap. 3). Essa ideia é a essência dos 3MP, onde o conhecimento não é transmitido, mas construído coletivamente a partir da problematização da realidade dos estudantes.

A conscientização é o objetivo central dessa pedagogia. Não se trata de uma tomada de consciência ingênua, mas de uma inserção crítica na história, compreendendo as estruturas de opressão e participando da luta pela humanização – a vocação ontológica do ser humano de "ser mais" (FREIRE, 1970, cap. 1). Ao trabalhar a acústica do berimbau, a intenção não é apenas ensinar física, mas usar esse contexto culturalmente significativo para que os estudantes problematizem sua realidade, compreendam as relações entre ciência, cultura e sociedade, e se reconheçam como sujeitos capazes de transformar o mundo.

Freire destaca a importância de partir da realidade concreta dos educandos, investigando seu universo temático para identificar os temas geradores – questões significativas que carregam as contradições vividas e podem ser decodificadas criticamente (FREIRE, 1970, cap. 3). Isso se conecta diretamente ao primeiro momento dos 3MP, a Problematização, onde o berimbau e sua sonoridade, inseridos na cultura local, servem como ponto de partida para questionar, investigar e despertar a curiosidade epistemológica, superando a visão mágica ou ingênua.

A indissociabilidade entre reflexão e ação (práxis) é outro pilar fundamental. A educação libertadora não se esgota na reflexão; ela exige ação transformadora sobre o mundo. Da mesma forma, a ação sem reflexão é mero ativismo (FREIRE, 1970, cap. 4). Isso ilumina o terceiro momento dos 3MP, a Aplicação do Conhecimento, que não deve ser vista como um simples exercício técnico, mas como a oportunidade de usar o conhecimento científico organizado para modificar a realidade, propor soluções, criar e recriar.

Por fim, a obra denuncia as teorias da ação antidialógica (conquista, dividir para manter a opressão, manipulação, invasão cultural) e propõe as características da ação dialógica (colaboração, união, organização, síntese cultural) (FREIRE, 1970, cap. 4). Isso alerta sobre a necessidade de uma postura ética e coerente na implementação da proposta pedagógica, garantindo que ela seja verdadeiramente colaborativa e respeite a cultura e a autonomia dos estudantes, evitando qualquer forma de imposição ou manipulação, mesmo que bem-intencionada.

Seguindo a discussão, a obra "Educação e Mudança"(FREIRE, 2020), também de Paulo Freire, livro estruturado em quatro ensaios fundamentais ("O Compromisso do Profissional com a Sociedade", "A Educação e o Processo de Mudança Social", "O Papel do Trabalhador Social no Processo de Mudança" e "Alfabetização de Adultos e Conscientização"), oferece um arcabouço teórico que fortalece a abordagem didático-pedagógica baseada nos Três Momentos Pedagógicos.

Logo no início, Freire estabelece que o verdadeiro compromisso profissional não pode ser dissociado do compromisso humano mais amplo. Quando ele afirma que "não posso nas 2as feiras assumir compromisso como homem, para nas 3as feiras assumi-lo como profissional" (p. 24), evidencia que a atuação como professor de física não pode estar desvinculada do compromisso com a valorização da cultura afro-brasileira representada pelo berimbau. Este instrumento, nesta proposta, não é apenas um objeto de estudo físico, mas um elemento cultural carregado de história e resistência.

A crítica que Freire faz à falsa dicotomia entre humanismo e tecnologia ressoa profundamente nessa pesquisa. Quando ele argumenta que "humanismo e tecnologia não se excluem" e que "o primeiro implica a segunda e vice-versa" (p. 28), justifica a sugestão de utilizar ferramentas computacionais para analisar as propriedades acústicas do berimbau sem descaracterizar seu valor cultural.

Particularmente relevante para minha pesquisa é a crítica de Freire ao que ele chama de "mitificação da técnica" (p. 28), quando técnicos bem-intencionados de maneira ingênua tentam "verticalmente, substituir os procedimentos empíricos do povo por sua técnica"(p. 29). Isto alerta para o risco de, ao ensinar física através do berimbau, sobrepor o conhecimento científico formal ao saber cultural dos capoeiristas. Na aplicação dos 3MP, especialmente no momento da problematização inicial, deve-se valorizar o conhecimento prévio dos estudantes sobre o berimbau e a capoeira, reconhecendo que tanto a técnica científica quanto os procedimentos empíricos são "manifestações culturais e, deste ponto de vista, ambas válidas, cada qual em sua medida" (p. 29).

A questão da alienação cultural, abordada por Freire quando discute sociedades que são "seres para outro" (p. 30), conecta-se diretamente com a importância da Lei 10.639/2003 e o compromisso em valorizar a cultura afro-brasileira no ensino de física. Ao trabalhar com o berimbau como elemento contextualizador, o educador contribuirá para superar o que Freire chama de "centro de decisão econômica e cultural fora" (p. 30) de nossa sociedade, promovendo uma educação científica que reconhece e valoriza nossos próprios elementos culturais.

Freire diz "o compromisso, próprio da existência humana, só existe no engajamento com a realidade, de cujas 'águas' os homens verdadeiramente comprometidos ficam 'molhados', ensopados" (p. 22).

A afirmação de que "somente assim o compromisso é verdadeiro" (FREIRE, 1979, p. 22) fundamenta minha decisão de me aproximar da capoeira não apenas como objeto de estudo, mas como praticante na Associação de Capoeira Palmares União. Esta imersão cultural me permite compreender o berimbau para além de suas propriedades físicas, enriquecendo o terceiro momento pedagógico (aplicação do conhecimento) com uma visão mais autêntica e respeitosa.

Destaca-se também como a ênfase que Freire dá à práxis como "ação e reflexão sobre a realidade" (p. 25) fundamenta a estrutura cíclica dos 3MP, onde a problematização inicial gera reflexão, a organização do conhecimento proporciona instrumentos para a ação, e a aplicação do conhecimento representa a nova reflexão. Ao aplicar esta metodologia ao estudo da acústica através do berimbau, o educador promoverá não apenas a aprendizagem de conceitos físicos, mas também a

transformação da curiosidade ingênua em curiosidade epistemológica, como o próprio Freire defenderia.

Ao colocar as duas obras de Freire, "Pedagogia do Oprimido" (FREIRE, 1987) e "Educação e Mudança" (FREIRE, 2020), em contraste, nota-se uma significativa evolução no discurso de Paulo Freire. Enquanto a primeira obra apresenta uma crítica estrutural e filosófica à educação bancária e às relações de opressão, com forte ênfase na conscientização e na práxis revolucionária e coletiva, "Educação e Mudança" (FREIRE, 2020) revela um Freire mais focado no compromisso cotidiano do educador e na dimensão prática da transformação social. Nota-se uma mudança de tom: da denúncia radical e teórica de "Pedagogia do Oprimido" para uma abordagem mais propositiva e concreta em "Educação e Mudança" (FREIRE, 2020), onde Freire supera a falsa oposição entre humanismo e tecnologia. Esta evolução reflete seu amadurecimento intelectual e suas experiências práticas no intervalo entre as obras, resultando em um discurso que se torna mais acessível e aplicável ao cotidiano educacional, deslocando parte da ênfase da estrutura social opressora para o papel ativo e comprometido do educador como agente de mudança, contudo, sem abandonar a radicalidade política.

Outra literatura fundamental para a compreensão dos 3MP, é o livro "Física" de Demétrio Delizoicov e José André Péres Angotti, que representa uma contribuição significativa para o ensino de Física no Brasil, propondo uma abordagem contextualizada, temática e unificadora. Publicado como parte do projeto "Revisão Curricular da Habilitação Magistério: Núcleo Comum e Disciplinas Profissionalizantes" patrocinado pela Secretaria de Ensino de 2º Grau do Ministério da Educação (SESG/MEC), essa obra apresenta uma proposta inovadora para o ensino de Física no 2º grau (atual Ensino Médio). A obra é destinada aos professores da Habilitação para o Magistério, buscando oferecer contribuições para o desenvolvimento dos conteúdos de Física de forma contextualizada e significativa.

Os autores defendem uma postura que privilegia o ensino de Física no ensino médio como um fim em si mesmo, e não apenas como preparação para o vestibular ou para o ensino superior. A abordagem proposta por Delizoicov e Angotti é estruturada em dois eixos fundamentais: Eixo natural - balizado pela radiação solar; Eixo social e tecnológico - balizado pelas transformações de energia pela natureza e pelo homem. Estes eixos convergem para um tema central: a produção, distribuição e consumo de energia elétrica (DELIZOICOV & ANGOTTI, 1990, p. 8).

Um aspecto metodológico fundamental da obra é a utilização de "conceitos unificadores", que têm a função de reduzir a fragmentação dos conteúdos e permitir uma melhor conexão entre as partes e o todo.

A proposta de Delizoicov e Angotti de vincular o ensino de Física a uma temática central e a situações concretas vividas pelos alunos oferece um modelo valioso para a proposta que trago nessa pesquisa. Ao utilizar o berimbau como elemento contextualizador, se torna possível estabelecer conexões entre os conceitos físicos (especialmente os relacionados a ondas, vibrações e acústica) e um elemento cultural significativo para os estudantes do Recôncavo Baiano.

Os autores enfatizam que sua proposta não é excessivamente diretiva, mas sim um material que propõe diretrizes e alternativas, estimulando a participação do professor quanto aos caminhos e possibilidades de se montar e prosseguir no curso (DELIZOICOV & ANGOTTI, 1990, p. 6). Esta flexibilidade permite a adaptação de princípios metodológicos à realidade específica do ensino de física através do berimbau, respeitando as particularidades culturais e regionais.

Além disso, a preocupação dos autores em "subsidiar um trabalho didático-pedagógico que permita tanto a apreensão dos conceitos, leis, relações da Física e sua utilização, bem como sua aproximação com fenômenos ligados a situações vividas pelos alunos" (DELIZOICOV & ANGOTTI, 1990, p. 5) alinha-se perfeitamente com a proposta de utilizar o berimbau como ponte entre o conhecimento científico e o saber cultural.

Enquanto as obras freireanas apresentam viés filosófico-político – com "Pedagogia do Oprimido" (FREIRE, 1987) oferecendo a crítica estrutural à educação bancária e os princípios da educação problematizadora, e "Educação e Mudança" (FREIRE, 2020) enfatizando o compromisso social do educador – o livro "Física" representa transposição didática desses princípios no campo específico do ensino de ciências. Delizoicov e Angotti não apenas aplicam, mas recontextualizam o pensamento freireano, traduzindo a investigação temática e os temas geradores para o contexto escolar formal através dos "conceitos unificadores". Esta transposição não é mecânica, mas criativa, pois enquanto Freire enfatiza a dimensão política da libertação coletiva, os autores de "Física" priorizam a organização didática do conhecimento científico, contudo, sem abandonar o compromisso com a contextualização e a problematização da realidade concreta dos educandos.

Seguindo a leitura dos trabalhos selecionados para o referencial didático-pedagógico dessa pesquisa, encontrei no artigo **"A construção de um processo didático-pedagógico dialógico: aspectos epistemológicos"** de Muenchen e Delizoicov (2012) elementos fundamentais para compreender a gênese e os fundamentos dessa abordagem.

O que mais chama atenção nesse trabalho foi a descoberta de que os Três Momentos Pedagógicos não surgiram como uma proposta metodológica isolada, mas como resultado de um processo histórico de transposição da concepção educacional de Paulo Freire para o contexto da educação formal em ciências. Essa descoberta fortalece a escolha por essa metodologia, pois reafirma seu compromisso com uma educação dialógica e problematizadora.

Os autores mostram que a dinâmica dos 3MP - Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento - foi desenvolvida inicialmente por Delizoicov (1982 *apud* Muenchen & Delizoicov, 2012) em um contexto bastante específico: um projeto de formação de professores de Ciências Naturais na Guiné-Bissau. É fascinante perceber como uma metodologia que nasceu em um contexto africano, dialogando com a realidade local, pode ser tão pertinente para a proposta de trabalhar com o berimbau, um instrumento de origem africana, no ensino de física no contexto brasileiro.

Segundo Muenchen e Delizoicov (2012), as primeiras discussões sobre a transposição da concepção freireana para a educação escolar ocorreram no Instituto de Física da USP, onde um grupo de pesquisadores, incluindo Demétrio Delizoicov, José André Angotti e outros, buscava desenvolver uma proposta de ensino de Ciências que aproximasse o conhecimento científico da realidade dos estudantes. A questão que os movia, conforme relatado por Zanetic (1989, *apud* Muenchen & Delizoicov, 2012), era justamente: "não deveria ser apresentada na escola uma Física mais próxima do mundo que nos cerca?". Essa pergunta ressoa profundamente com a proposta de utilizar o berimbau como elemento contextualizador no ensino de física, aproximando o conhecimento científico da realidade cultural dos estudantes.

O que inicialmente foi chamado de "roteiro pedagógico" por Delizoicov (1982, 1991) só posteriormente recebeu a denominação de Três Momentos Pedagógicos. Esse roteiro já era utilizado pelo Centro de Educação Popular Integrada (CEPI) na Guiné-Bissau, um centro de formação de professores criado em 1977, que tinha entre

suas preocupações a relação com a comunidade e a vinculação dos alunos ao seu meio social.

A estrutura dos 3MP dialoga perfeitamente com a proposta de utilizar o berimbau como elemento problematizador no ensino de física. Na Problematização Inicial, posso apresentar situações relacionadas ao berimbau que desafiem os estudantes a pensar sobre os fenômenos físicos envolvidos, através de questionamentos sobre o funcionamento de sua estrutura; na Organização do Conhecimento, posso trabalhar os conceitos físicos relacionados à acústica, ondas e vibrações; e na Aplicação do Conhecimento, posso propor que os estudantes utilizem esses conceitos para compreender não só o berimbau, mas também outros instrumentos musicais e fenômenos acústicos do cotidiano.

Um aspecto que particularmente relevante no artigo é a fundamentação epistemológica dos 3MP a partir das ideias de Ludwik Fleck sobre a circulação de conhecimentos e práticas. Os autores utilizam as categorias de "circulação intracoletiva" e "circulação intercoletiva" de ideias para compreender como o conhecimento se dissemina e se transforma.

Outro ponto importante destacado no artigo é que os 3MP não são apenas uma metodologia de ensino, mas uma abordagem fundamentada na perspectiva de uma "abordagem temática" (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2002, *apud* Muenchen & Delizoicov 2012). Isso significa que os conteúdos programáticos são organizados a partir de temas significativos, e não apenas a partir da estrutura conceitual da disciplina.

A análise histórica realizada por Muenchen e Delizoicov (2012) mostra que os 3MP foram desenvolvidos e implementados em três grandes projetos: um na Guiné-Bissau e dois no Brasil (no Rio Grande do Norte e em São Paulo). Essa trajetória evidencia a versatilidade e adaptabilidade dessa abordagem a diferentes contextos, o que abre espaço para adaptá-la ao contexto específico Recôncavo Baiano.

Algumas reflexões teóricas e metodológicas sobre práticas contextualizadas na formação inicial de professores e no ensino de Ciências, são apresentadas no artigo **"Contextualização na formação inicial de professores de ciências e a perspectiva educacional de Paulo Freire"** (FERNANDES, MARQUES & DELIZOICOV, 2016), principalmente fundamentada na obra "Extensão ou Comunicação?" de Paulo Freire (1983). A articulação entre a perspectiva freireana de contextualização e a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos, proposta por

Delizoicov, Angotti & Pernambuco (2002, *apud* FERNANDES, MARQUES & DELIZOICOV, 2016), encontra neste artigo importantes fundamentos teóricos e metodológicos, especialmente referentes à problematização, ao diálogo entre saberes e à superação da racionalidade técnica no ensino de ciências.

Os autores buscam estabelecer conexões entre a perspectiva freireana de educação e a contextualização no ensino de ciências, propondo caminhos para superar a formação baseadas nos moldes do ensino tecnicista.

O texto destaca a variedade de significados da noção de "contextualização" e as diferentes concepções curriculares que estipulam as relações entre conhecimento científico e contextualização. Os autores argumentam que, após a divulgação dos documentos oficiais como as Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio (DCNEM) e os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), houve um aumento significativo de publicações sobre contextualização, especialmente aquelas que buscam articulação com a perspectiva freireana.

Uma contribuição fundamental do artigo é a discussão sobre a indissociabilidade entre contextualização e problematização na visão freireana. Como destacam os autores:

Ricardo (2005), por exemplo, aponta a contextualização como indissociável da problematização defendida por Freire (2005). Tal perspectiva aposta no diálogo autêntico entre educadores e educandos com vistas à transformação da realidade via problematização. (FERNANDES, MARQUES & DELIZOICOV, 2016)

Um aspecto central do artigo é a discussão sobre os conceitos freireanos de "doxa" e "logos". Os autores afirmam que para Freire, a "doxa" está relacionada a uma percepção mágica da realidade (senso comum), enquanto o "logos" é equivalente a um conhecimento sistematizado e fundamentado sobre a realidade. Os autores argumentam que:

A superação da "doxa" pelo "logos" pode ser buscada através do diálogo problematizador em que o conhecimento, seja técnico, científico ou educacional, tenha relação indissociável com a realidade em questão (FREIRE, 1977). Isto é, explorar categorias freireanas como "dialogicidade" e "problematização" pode constituir possibilidades de compreensão e transformação

da realidade. (FERNANDES, MARQUES & DELIZOICOV, 2016)

Esta discussão é particularmente relevante para o ensino de física com o berimbau, pois permite articular o conhecimento científico (logos) com o conhecimento cultural e popular sobre o instrumento (doxa), em um processo dialógico e problematizador.

O artigo apresenta uma crítica convincente à forma extensionista de educação, que acredita em apenas uma via de informação - do especialista para o não especialista. Os autores destacam que Freire:

“argumenta sobre a necessidade de se implementar a dimensão dialógica para possibilitar a apreensão e compreensão da percepção do não-especialista sobre os problemas enfrentados e para que essa percepção possa ser problematizada de tal modo que, durante o processo educativo, seja planejada a inserção dos conhecimentos dos especialistas como uma contribuição na busca de soluções para a problematização que se realiza.” (FERNANDES, MARQUES & DELIZOICOV, 2016).

Esta crítica é fundamental para repensar o ensino de física, tradicionalmente apresentado de forma descontextualizada e técnica, sem diálogo com os saberes e a realidade dos estudantes.

Os autores, assim como Freire, defendem o rigor científico nas práticas educacionais como possibilidade de superação da “doxa”, mas alertam que este rigor não deve ser interpretado como reducionismo científico. Os autores citam Freire e Shor (2003, p.14) “O rigor é um desejo de saber, uma busca de resposta, um método crítico de aprender. Talvez o rigor seja, também uma forma de comunicação que provoca o outro a participar, ou inclui o outro numa busca ativa.” (FREIRE & SHOR, 2003, p.14, *apud* FERNANDES, MARQUES & DELIZOICOV, 2016).

Esta concepção de rigor científico dialoga diretamente com a proposta dos Três Momentos Pedagógicos, que busca articular o conhecimento científico com a realidade dos estudantes em um processo dialógico e problematizador.

Tendo estabelecido os fundamentos filosóficos e a estrutura metodológica dos Três Momentos Pedagógicos, baseados no pensamento freireano e operacionalizados na proposta didática de Delizoicov e Angotti, é necessário agora ampliar o horizonte teórico para compreender como essa abordagem dialoga com

movimentos contemporâneos no ensino de ciências. A Alfabetização Científica e as relações Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) surgem como perspectivas complementares que potencializam os 3MP. Se os 3MP fornecem a estrutura metodológica para uma educação problematizadora, a Alfabetização Científica e as relações de CTS oferecem o direcionamento para que essa problematização contemple as complexas interações entre o conhecimento científico, suas aplicações tecnológicas e impactos sociais.

3.4 IMPLEMENTAÇÃO, DESAFIOS E PRÁTICAS COM OS 3MP

A pesquisa **“proposições de inovação didática na perspectiva dos três momentos pedagógicos: tensões de um processo formativo”** (ABREU & FREITAS, 2017), se mostrou particularmente relevante por investigar justamente as dificuldades e potencialidades de se trabalhar com os 3MP na formação inicial de professores, um contexto que, de certa forma, espelha os possíveis desafios ao aplicar essa metodologia.

As autoras partem de uma circunstância de "renovações, métodos, estratégias, recursos, entre outros, que têm sido elaborados e experimentados na intenção de reinventar a prática pedagógica dos professores" (ABREU; FREITAS, 2017, p. 2). Elas apostam nos 3MP como uma proposta com potencial inovador, mas investigam as tensões que emergem quando professores em formação tentam aplicá-la. Isso chama atenção para os possíveis obstáculos ao explorar o potencial dos 3MP para conectar a física com a cultura da capoeira e o berimbau.

O estudo de Abreu e Freitas (2017), realizado com licenciandos da UFPA, revelou dificuldades significativas. Os sujeitos da pesquisa manifestaram dificuldade em "problematizar um tema" (ABREU; FREITAS, 2017). Isso é crucial, pois a Problematização Inicial é o ponto de partida dos 3MP. Isso levanta a questão, como transformar o berimbau, um objeto culturalmente rico, em um problema genuíno que mobilize o estudo da física? O artigo alerta para a necessidade de pensar cuidadosamente sobre como conduzir essa etapa, indo além de questões diretivas.

Outra dificuldade encontrada pelos estudantes foi em "superar as amarras de uma avaliação pontual e finalística" (ABREU; FREITAS, 2017). A proposta dos 3MP exige uma postura diferente, mais dialógica e investigativa, tanto do professor quanto

do aluno, demandando uma avaliação processual, que acompanhe a construção do conhecimento pelos alunos, algo distante dos modelos tradicionalistas de ensino, focados em provas e notas. Por tanto, como avaliar o processo de aprendizagem da física a partir do berimbau de forma coerente com a metodologia?

As autoras interpretam essas dificuldades como "herança de uma formação docente vivida ainda quando alunos" (ABREU; FREITAS, 2017), ou seja, reflexos de um modelo educacional enraizado. No entanto, elas também veem a experiência com os 3MP como uma "autêntica problematização da docência", com potencial para "superar e romper entraves enraizados em nós", possibilitando a "(re)construção de significados relacionados ao 'saber fazer' e ao 'saber ser' professor" (ABREU; FREITAS, 2017).

O artigo reforça a visão dos 3MP não como uma "receita", mas como um "desafio e motivação para pensar sobre que ideias, crenças e valores revelam resistências ligadas à inovação didática" (ABREU; FREITAS, 2017). Ao aplicar os 3MP no estudo do berimbau, o educador não estará apenas ensinando física, mas também engajando-se nesse processo de problematização do seu próprio "saber ser" e "saber fazer" como educador, e buscando construir um caminho pedagógico mais relevante e contextualizado, em diálogo com a perspectiva freireana que fundamenta a metodologia.

A experiência relatada por Abreu e Freitas (2017) serve como um importante lembrete das tensões que permeiam qualquer processo de inovação pedagógica, mas também como um encorajamento sobre o potencial transformador dos Três Momentos Pedagógicos quando encarados como um convite à reflexão e à reconstrução da prática docente.

Outra pesquisa que contribuiu para a compreensão das dificuldades em aplicar os 3MP foi "**Abordagem dialógico-problematizadora e interdisciplinar envolvendo mediação tecnológica, Ciências e Educação Física: análises e reflexões para uma educação emancipatória no ensino fundamental II**" de Laranjo e Saavedra Filho (2024) Os autores apresentam uma experiência de aplicação da abordagem dialógica problematizadora freireana em um contexto interdisciplinar, integrando Educação Física e Ciências, mediada por tecnologias digitais e estruturada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP).

O que mais se destaca nessa pesquisa é como os autores conseguiram transformar o desinteresse inicial dos estudantes em engajamento e motivação

através de uma sequência didática que valorizava o diálogo, a problematização e a contextualização.

A sequência didática desenvolvida pelos autores seguiu rigorosamente os princípios freireanos: investigação temática, delimitação de público-alvo, dialogicidade com a comunidade escolar, escolha dos temas geradores, redução temática e elaboração dos planos de aula de forma interdisciplinar (Laranjo & Saavedra Filho, 2024).

Os Três Momentos Pedagógicos, conforme descritos no artigo, oferecem um caminho estruturado para minha proposta:

Na Problematização Inicial, o educador pode apresentar situações relacionadas ao berimbau que sejam familiares aos estudantes, questionando aspectos como: “Como o tocador produz tal variedade de notas em um instrumento monocórdio?”, “Por que o som muda quando se pressiona a corda com a pedra?” “Por que o berimbau com cabaça maior produz som diferente?”. Estas questões podem fomentar o debate e fazer com que os estudantes sintam a necessidade de adquirir novos conhecimentos.

Na Organização do Conhecimento, é o momento de sistematizar os conceitos físicos relacionados às ondas sonoras, ressonância, tensão e frequência, utilizando o berimbau como objeto concreto de estudo. Assim como Laranjo e Saavedra Filho (2024) utilizaram tecnologias digitais para análise do movimento na corrida, é possível explorar ferramentas computacionais para analisar as ondas sonoras produzidas pelo berimbau em diferentes condições.

Na Aplicação do Conhecimento, os estudantes poderiam empregar os conceitos aprendidos para explicar outros fenômenos acústicos, construir instrumentos experimentais ou até mesmo propor melhorias no design do berimbau com base nos princípios físicos estudados.

O artigo destaca que "a dialogicidade é uma abordagem poderosa para potencializar o conhecimento, especialmente quando combinada com uma problematização, em uma perspectiva crítico-emancipatória" (Laranjo & Saavedra Filho, 2024). Esta afirmação reforça a hipótese de que o diálogo entre o conhecimento científico e os saberes étnico-culturais associados ao berimbau pode promover uma educação verdadeiramente emancipatória, valorizando a cultura afro-brasileira conforme propõe a Lei 10.639/2003.

Outro aspecto relevante do artigo é a discussão sobre como a interdisciplinaridade "parte de uma liberdade científica, alicerça-se no diálogo e na colaboração, funda-se no desejo de inovar, de criar, de ir além" (Fazenda, 2012, p. 69, *apud* Laranjo & Saavedra Filho, 2024). Isso inspira a busca de parcerias com professores de outras disciplinas, como História (História de nossos ancestrais), Música, Artes e, Educação Física para enriquecer a proposta sobre o berimbau no ensino de física.

A mediação tecnológica também se mostrou fundamental na experiência relatada. Os autores utilizaram um software de videoanálise (Tracker) para que os estudantes pudessem visualizar e compreender melhor os conceitos físicos aplicados ao movimento. De forma análoga, pretendo utilizar ferramentas computacionais grátis disponíveis na internet, ao exemplo do Audacity, para analisar as propriedades físicas do berimbau, como frequências, harmônicos e ressonância, tornando esses conceitos mais palpáveis e significativos para os estudantes.

Um ponto que merece destaque é como os autores conseguiram transformar a percepção dos estudantes sobre as disciplinas envolvidas. Frases como "Compreendi a técnica da corrida com a parceria entre as duas disciplinas" e "em Ciências entendi o desenvolvimento da corrida e em EF realizei a prática, me ajudando a entender mais rápido o conteúdo" (Laranjo & Saavedra Filho, 2024) demonstram o potencial dessa abordagem. É possível obter resultados semelhantes quando os estudantes perceberem que o berimbau, elemento cultural que muitos conhecem desde a infância, pode ser compreendido também através das lentes da física, enriquecendo ambas as perspectivas.

As reflexões sobre a prática pedagógica apresentadas no artigo fazem refletir sobre como ressignificar o ensino de física no contexto do Recôncavo Baiano. Assim como os autores partiram da realidade local e dos interesses dos estudantes para desenvolver sua proposta, pretende-se valorizar os saberes tradicionais associados ao berimbau e à capoeira como premissa para a construção do conhecimento científico.

Por fim, os autores afirmam que uma educação emancipatória deve ser "democrática, amorosa, dialógica, problematizadora e esperançosa, atenta aos interesses que permeiam o contexto escolar" (Laranjo & Saavedra Filho, 2024). Esta perspectiva alinha-se perfeitamente com a proposta de utilizar o berimbau como elemento contextualizador no ensino de física, promovendo não apenas a

compreensão de conceitos científicos, mas também a valorização da cultura afro-brasileira e o desenvolvimento do pensamento crítico dos estudantes.

Finalmente, a análise das tensões vivenciadas por licenciandos ao tentar aplicar os 3MP, como relatado por Abreu & Freitas (2017), traz a discussão para o plano da prática. As dificuldades em problematizar, a resistência ao novo e os desafios na avaliação não são meros obstáculos técnicos, mas refletem, em parte, os próprios conflitos teóricos. A dificuldade em abandonar modelos tradicionais (criticados por Freire) pode estar ligada à dificuldade em articular a problematização com uma construção conceitual rigorosa. A visão dos 3MP não como "receita", mas como um convite à reflexão e à inovação, ressaltada por Abreu & Freitas, é fundamental. Ela dialoga com a perspectiva de Muenchen & Delizoicov (2012) sobre a construção dialógica do processo didático-pedagógico, que não pode ser pré-determinado, mas origina-se da interação. Isso reforça a ideia de que a aplicação dos 3MP no contexto do berimbau exigirá uma constante reflexão sobre a prática, buscando equilibrar a fidelidade aos princípios freireanos e vygotskyanos com as demandas e possibilidades do contexto específico.

O referencial teórico construído a partir desses artigos oferece uma base sólida, mas é no diálogo crítico entre eles que a complexidade e a riqueza da abordagem dos 3MP se revelam. Reconhecer os conflitos e buscar as complementaridades entre as perspectivas da AC, CTS, Freire e Vygotsky é essencial para construir uma proposta de ensino de física com o berimbau que seja, ao mesmo tempo, conceitualmente rigorosa e relevante culturalmente.

4 Proposta de Sequência Didática: O Berimbau de Barriga no Ensino de Acústica

Este capítulo detalhará a proposta de uma sequência didática (SD) inovadora, idealizada para o ensino de acústica no Ensino Médio. A abordagem é centralizada no berimbau de barriga, um instrumento musical de profunda relevância cultural brasileira, que serve como um potente recurso para contextualizar e problematizar os conceitos físicos. Fundamentada nos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov e Angotti, a SD busca promover uma educação libertária, que supere a ingênua memorização de fórmulas e conceitos, conectando o conhecimento científico à realidade e aos saberes prévios dos estudantes. Além disso, busca-se valorizar a cultura afro-brasileira, de acordo com a Lei 10.639/2003, e estimular a curiosidade epistemológica, transformando a curiosidade ingênua em um desejo genuíno de compreender os fenômenos científicos e finalmente superando a concepção mágica da realidade.

É importante ressaltar que essa proposta não se configura como uma aplicação ou validação de uma sequência didática já implementada, mas, antes, como uma sugestão detalhada para professores que buscam a integração da Física com a cultura popular.

A sequência foi pensada para ser desenvolvida em com uma duração de cinco horas-aulas de 50 minutos, com flexibilidade para adaptações e extensões, dependendo do interesse, envolvimento e do ritmo de cada turma. Cada etapa dos 3MP será cuidadosamente detalhada, apresentando sugestões de atividades, métodos avaliativos, recursos necessários e os conceitos físicos e culturais a serem explorados. A intenção é que esta proposta sirva como um guia prático, capaz de tornar o processo de ensino-aprendizagem da acústica mais dinâmico, contextualizado e relevante, ao mesmo tempo em que proporciona uma Alfabetização Científica (AC) mais próxima da definida por Shen (1975 apud LORENZETTI & DELIZOICOV, 2001) como AC Cultural, visão mais integrada da ciência e da cultura.

Nesse contexto, a proposta de sequência didática apresentada em subsequência se alinha a uma perspectiva de educação étnico-cultural dialógica e libertária, profundamente enraizada nos princípios da pedagogia freireana. Ao reconhecer e valorizar os saberes culturais e as experiências dos estudantes, especialmente aqueles advindos de contextos afro-brasileiros, busca-se construir um processo de ensino-aprendizagem que não apenas transmita conceitos físicos, mas

que também promova a reflexão crítica, o diálogo horizontal e a emancipação. A educação, sob essa ótica, transcende a mera aquisição de conhecimento técnico, tornando-se um instrumento de transformação social, onde o berimbau de barriga atua como um potente mediador entre a cultura, a ciência e a realidade dos educandos.

4.1 ESTRUTURA GERAL DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A proposta de SD para o ensino de acústica com o berimbau de barriga é estruturada com base nos 3MP, uma abordagem didática que busca promover uma aprendizagem contextualizada. Essa estrutura permite que os estudantes partam de suas realidades e conhecimentos prévios, se aprofundem nos conceitos científicos e, finalmente, relacionem esse conhecimento em novas situações, transformando sua compreensão do mundo através da práxis.

A distribuição das aulas pelos momentos pedagógicos é a seguinte:

1. Problematização Inicial (Aula 1): Dedicada a despertar a curiosidade epistemológica dos estudantes, refletir seus conhecimentos prévios e levantar questões a partir da interação com o berimbau e a cultura da capoeira. Neste momento pretende-se criar um elo entre o universo cultural dos alunos e os fenômenos físicos da acústica, estimulando a formulação de perguntas e hipóteses.
2. Organização do Conhecimento (Aulas 2, 3 e 4): Focadas na apresentação e sistematização dos conceitos científicos de ondulatória e acústica de maneira mais formal, contudo, sem renunciar à característica dialógica dessa abordagem. Nesta etapa, o professor atua como mediador, auxiliando os alunos a construir uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos observados. Sugere-se a complementaridade com características de situação de estudo vygotskyana, onde a interação social e a mediação do professor são cruciais para a construção do conhecimento.
3. Aplicação do Conhecimento (Aulas 4 e 5). Este momento visa consolidar a aprendizagem, permitindo que os alunos explorem o conhecimento em diferentes contextos, incluindo a análise comparativa com outros

instrumentos e a reflexão sobre a relação entre ciência, tecnologia, sociedade e cultura.

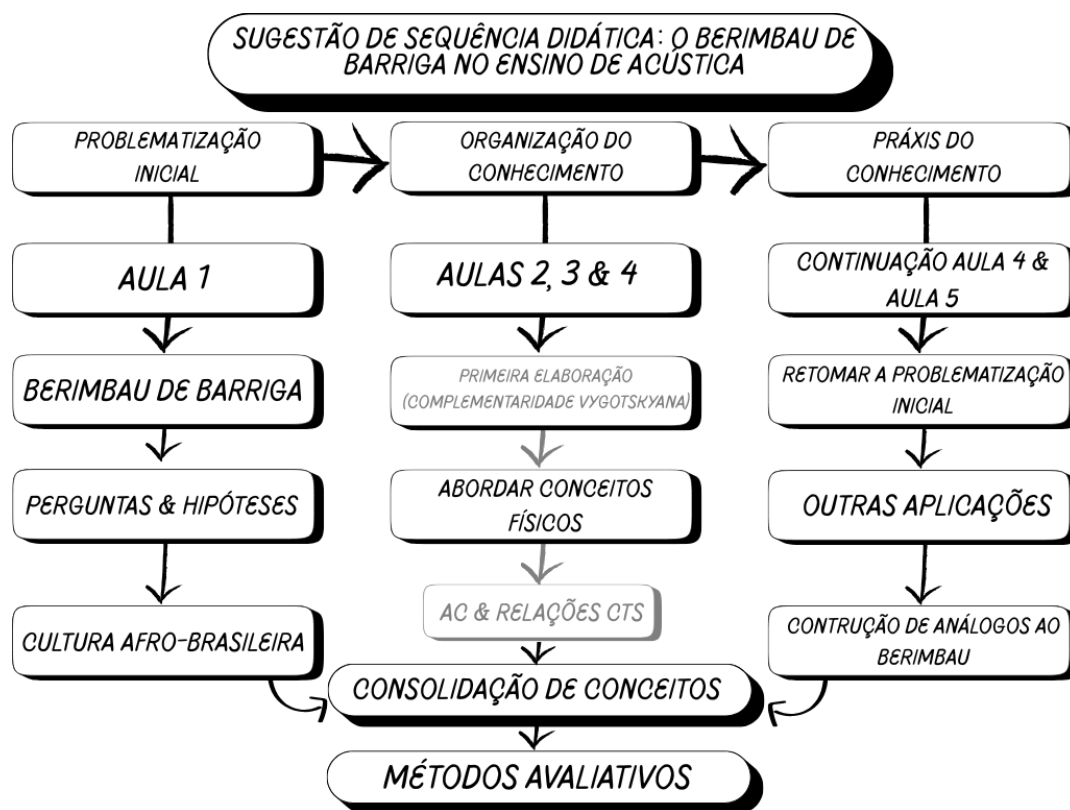


Figura 16: Diagrama - Sugestão de Sequência Didática
(Fonte: Autor)

Essa divisão em aulas é uma sugestão e pode ser ajustada pelo professor conforme a dinâmica da turma e a profundidade desejada em cada tema. O importante é garantir que cada momento pedagógico seja totalmente vivenciado, proporcionando uma rica experiência de aprendizagem.

4.1.1 Estratégias Didático-Pedagógicas

- a) Experimentação e Demonstrações Práticas: Utilização do berimbau de barriga como objeto central de estudo, com demonstrações práticas de como a manipulação do instrumento (percussão da corda, uso do dobrão e da cabaça) afeta a produção e as características do som. Serão propostos experimentos simples com materiais acessíveis (cordas, molas, bacias com água) para ilustrar conceitos como tipos de ondas,

propagação, interferência e ondas estacionárias, tornando a aprendizagem mais concreta e significativa.

- b) Aulas Expositivas Dialogadas e Participativas: O professor atuará como mediador, apresentando os conceitos de ondulatória e acústica de forma clara e objetiva, mas sempre abrindo espaço para a participação ativa dos alunos, com perguntas, discussões e compartilhamento de experiências e conhecimentos prévios. A interação será constante, buscando construir o conhecimento de forma coletiva.
- c) Conexão Ciência-Cultura: Estabelecimento de um diálogo contínuo entre os conceitos físicos e a manifestação cultural do berimbau e da capoeira. Serão exploradas as relações entre a física do som e os aspectos culturais, históricos e sociais do berimbau, valorizando a ancestralidade e a diversidade de saberes. Discussões sobre a importância do berimbau não apenas como instrumento musical, mas como um objeto de estudo científico e cultural.
- d) Resolução de Problemas e Formulação de Hipóteses: Incentivo à formulação de perguntas e hipóteses sobre os fenômenos observados no berimbau, estimulando o pensamento investigativo. Aplicação de exercícios e situações-problema ao longo das aulas para que os alunos mobilizem os conceitos aprendidos na análise de novas situações e na resolução de desafios relacionados à acústica.
- e) Uso de Recursos Tecnológicos: Integração de vídeos, áudios e, opcionalmente, softwares de simulação de ondas (como The Physics Classroom ou PhET) para visualização de conceitos abstratos e para aprofundar a compreensão dos fenômenos acústicos, enriquecendo a experiência de aprendizagem.
- f) Trabalho em Grupo e Compartilhamento: Promoção de atividades em grupo para a exploração do berimbau, levantamento de hipóteses e discussões, incentivando a colaboração e o compartilhamento de ideias entre os alunos. Momentos de socialização das descobertas e sistematização coletiva do conhecimento.

4.2 PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL (AULA 1)

Nesta primeira aula, o foco é despertar o interesse dos estudantes, investigar seus conhecimentos prévios e levantar questões que serão o motor para a busca de novos conhecimentos. O berimbau de barriga é o protagonista, servindo como um elo entre o universo cultural dos alunos e os fenômenos físicos da acústica. Objetivos de Aprendizagem:

1. Reconhecer a acústica como um campo de estudo instigante a partir da exploração do berimbau.
2. Expressar seus conhecimentos prévios sobre som, ondas e instrumentos musicais.
3. Formular perguntas e hipóteses sobre a produção e a propagação do som do berimbau.
4. Demonstrar a valorização da cultura afro-brasileira e perceber a relação entre ciência e cultura.

Os recursos sugeridos são: Um ou mais berimbaus de barriga (essencial para demonstração e manuseio pelos alunos. Sugere-se tamanhos diferentes de cabaça); Caixa de som e projetor para exibição de vídeos e áudios; Vídeos curtos de rodas de capoeira com foco no berimbau (ex: demonstrações de toques, construção do instrumento); Quadro branco/lousa e marcadores; Folhas de papel e canetas para registros individuais e em grupo.

Desenvolvimento das Aulas:

Aula 1: O Som do Berimbau: Primeiras Impressões (50 minutos)

Esta aula inicial busca introduzir os alunos no universo do berimbau, despertando a curiosidade e conectando-os culturalmente ao instrumento. Através de uma abordagem dialogal, os estudantes são convidados a explorar o berimbau, levantar questões e compartilhar suas primeiras impressões, estabelecendo as bases para a investigação científica dos fenômenos acústicos.

- I. Abertura e Contextualização Cultural (15 minutos): O professor pode iniciar a aula com um áudio ou vídeo de uma roda de capoeira, destacando o som do berimbau. Pode-se perguntar: "Que instrumento é esse?", "Que sensações o som do berimbau provoca em vocês?". Em seguida, apresentar o berimbau físico, executando alguns toques básicos e permitindo que os alunos observem o instrumento de perto. Abrir para a turma compartilhar o que já sabe sobre o berimbau e a capoeira, valorizando as experiências culturais dos alunos.

- II. Exploração e Questionamento (20 minutos): O professor convida os alunos a observarem o berimbau com mais atenção, guiando a observação com perguntas como: "Por que ele tem esse nome?", "Quais são as partes do berimbau?", "Como vocês acham que o som é produzido?", "Como é feito para tocar notas diferentes em uma única corda?", "O que acontece quando o dobrão é usado? E a cabaça?". Dividir a turma em pequenos grupos (3-4 alunos) para uma atividade em que cada grupo registra suas observações e, principalmente, as perguntas que surgem sobre o funcionamento do berimbau, estimulando a formulação de hipóteses iniciais, mesmo que intuitivas.
- III. Compartilhamento e Sistematização (15 minutos): Cada grupo compartilha suas perguntas e hipóteses com a turma. O professor anota as questões mais relevantes no quadro, classificando-as por similaridade. Este é o momento de transformar a curiosidade ingênua em questões mais estruturadas que demandam investigação científica. Exemplos de perguntas que podem surgir: "Por que a corda de aço vibra?", "Como a cabaça faz o som ficar mais alto?", "O que faz o som do berimbau mudar quando o dobrão é apertado?", "O som do berimbau é igual ao de um violão? Por quê?".
- IV. Tarefa de Casa (Opcional): Pedir aos alunos para pesquisarem sobre a história do berimbau e sua importância na capoeira, ou sobre o que é o som e como ele se propaga. Isso pode enriquecer a discussão na próxima etapa.

Ao final desta etapa, espera-se que os alunos estejam engajados com o tema, tenham expressado suas ideias iniciais e estejam curiosos para aprofundar seus conhecimentos sobre a acústica do berimbau, percebendo a relevância do estudo da Física para compreender o mundo ao seu redor, incluindo suas manifestações culturais.

4.3 ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO (AULAS 2, 3 E 4)

Nesta etapa, o foco é aprofundar os conceitos científicos de ondulatória e acústica, conectando-os às observações e perguntas levantadas na problematização

inicial. O professor atua como mediador, facilitando a construção do conhecimento de forma dialógica e contextualizada, utilizando o berimbau como motivador.

Objetivos de Aprendizagem:

1. Compreender os conceitos fundamentais de ondas (tipos, características, propagação).
2. Entender os fenômenos acústicos (velocidade do som, intensidade, interferência, ondas estacionárias, altura e timbre).
3. Relacionar os conceitos físicos com o funcionamento do berimbau de barriga.
4. Desenvolver a capacidade de formular explicações científicas para fenômenos observados.

Os recursos sugeridos são: Berimbau de barriga (para demonstrações e experimentos); Materiais para experimentos simples de ondas (cordas, molas, bacias com água); Software de simulação de ondas (opcional, para visualização de conceitos abstratos); Textos de apoio e materiais didáticos sobre ondulatória e acústica; Vídeos e áudios que ilustrem os conceitos (ex: ressonância em tubos, harmônicos de instrumentos); Quadro branco/lousa, projetor.

Desenvolvimento das Aulas:

Aula 2: Desvendando os Mistérios do Som (50 minutos)

Nesta aula, os alunos iniciam a exploração dos conceitos científicos de ondas e som, conectando-os às suas observações iniciais do berimbau. Através de experimentos mentais e analogias, o professor facilita a construção de uma compreensão mais formal sobre a propagação sonora e as características das ondas, preparando o terreno para aprofundar o conhecimento.

- I. Revisão e Conexão com a Aula Anterior (10 minutos): Retomar as perguntas e hipóteses levantadas na Aula 1. O professor pode iniciar com uma breve demonstração no berimbau, percutindo a corda e questionando novamente: "O que está vibrando? Como essa vibração se transforma em som?".
- II. Introdução ao Conceito de Onda (20 minutos): Apresentar o conceito de onda como uma perturbação que se propaga, transportando energia sem transportar matéria. Utilizar analogias simples (onda em uma corda, onda na superfície de um lago) e experimentos práticos com molas ou cordas para ilustrar ondas transversais e longitudinais. Explicar as

características de uma onda: amplitude, comprimento de onda, frequência, período e velocidade de propagação. Conectar a vibração da corda do berimbau à produção de ondas.

- III. Ondas Sonoras: Natureza e Propagação (20 minutos): Focar nas ondas sonoras como ondas longitudinais. Explicar como o som se propaga através de compressões e rarefações do meio (ar). Discutir a velocidade do som e os fatores que a influenciam (temperatura, meio). Relacionar a velocidade do som na corda do berimbau com a tensão e a densidade linear da corda, e como isso afeta a altura das notas produzidas.

Aula 3: A Física do Som: Intensidade, Interferência e Ondas Estacionárias (50 minutos)

Nesta aula, os alunos exploram fenômenos acústicos mais complexos, como intensidade, interferência e ondas estacionárias, essenciais para compreender a riqueza sonora do berimbau. Através de demonstrações e discussões, os conceitos são conectados diretamente ao funcionamento do instrumento, revelando a física por trás de sua sonoridade única.

- I. Intensidade e Nível Sonoro (15 minutos): Abordar o conceito de intensidade sonora como a energia transportada pela onda por unidade de área. Explicar a relação entre intensidade e amplitude da onda. Introduzir a escala decibel como uma medida logarítmica da intensidade, mais próxima da percepção humana. Demonstrar no berimbau como a força da percussão da baqueta e a manipulação da cabaça afetam a intensidade do som, conectando à ideia de potência sonora.
- II. Interferência de Ondas (15 minutos): Apresentar o princípio da superposição e o fenômeno da interferência (construtiva e destrutiva). Utilizar exemplos visuais (ondas na água) ou simulações para ilustrar como duas ondas podem se combinar. Discutir como a interferência é crucial para a formação de ondas estacionárias na corda do berimbau.
- III. Ondas Estacionárias e Harmônicos (20 minutos): Explicar a formação de ondas estacionárias em cordas e tubos. Demonstrar no berimbau a existência de nós e ventres na corda vibrante. Introduzir o conceito de harmônicos como modos de vibração específicos que resultam em frequências múltiplas da frequência fundamental. Discutir como a corda do berimbau, ao vibrar, produz não apenas a nota fundamental, mas

também uma série de harmônicos que contribuem para o timbre do instrumento. Explorar como a manipulação do dobrão altera o comprimento efetivo da corda, mudando os harmônicos produzidos.

Aula 4: Transição e Preparação para a Aplicação (50 minutos)

Esta aula serve como uma ponte entre a Organização do Conhecimento e a Aplicação do Conhecimento, consolidando os conceitos aprendidos e preparando os alunos para mobilizá-los em novas situações. É um momento de síntese e de conexão entre a teoria e a prática, reforçando a compreensão da física do berimbau.

- I. Revisão Integrada dos Conceitos (25 minutos): Realizar uma revisão interativa dos principais conceitos de ondulatória e acústica abordados nas Aulas 2 e 3, utilizando o berimbau como objeto central. O professor pode propor um quiz rápido, uma discussão guiada, ou a interação com simuladores online (The Physics Classroom, PhET) para consolidar o entendimento. Focar na interconexão entre os conceitos (ex: como a frequência da onda estacionária na corda se relaciona com a altura do som, e como a intensidade está ligada à amplitude).
- II. Discussão sobre a Relação Ciência-Cultura (25 minutos): Promover um debate sobre a importância do berimbau não apenas como instrumento musical, mas como um objeto de estudo científico e cultural. Discutir como a física explica os fenômenos observados no berimbau e como o conhecimento científico pode enriquecer a apreciação cultural do instrumento. Incentivar os alunos a refletirem sobre a presença da física em seu cotidiano e em outras manifestações culturais.

4.4 APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO (AULAS 4 E 5)

Este momento pedagógico é dedicado à mobilização dos conceitos científicos adquiridos para analisar novas situações, resolver problemas e intervir na realidade. Visa consolidar a aprendizagem, permitindo que os alunos apliquem o conhecimento em diferentes contextos, incluindo a análise comparativa com outros instrumentos e a reflexão sobre a relação entre ciência, tecnologia, sociedade e cultura

Objetivos de Aprendizagem:

1. Aplicar os conceitos de ondulatória e acústica na análise de fenômenos do cotidiano e de outros instrumentos musicais.
2. Resolver problemas relacionados à acústica.
3. Refletir sobre a relação entre ciência, tecnologia, sociedade e cultura, com ênfase na cultura afro-brasileira.
4. Compreender a relevância da Física para interpretar o mundo ao seu redor.

Os recursos sugeridos: Berimbau de barriga e outros instrumentos musicais (violão, flauta, etc.) para comparação; Materiais para construção de modelos simples de instrumentos ou ressonadores; Artigos, vídeos ou notícias que abordem a aplicação da acústica em diferentes contextos (engenharia de som, medicina, etc.); Quadro branco/lousa, projetor.

Desenvolvimento da Aula:

Aula 5: Altura, Timbre e a Ressonância do Berimbau (Segunda parte) e Outros Instrumentos (50 minutos)

Nesta aula final, os alunos aplicam os conhecimentos adquiridos para aprofundar a compreensão sobre altura, timbre e ressonância, utilizando o berimbau e outros instrumentos como exemplos. O foco é consolidar a capacidade de analisar fenômenos acústicos complexos e reconhecer a física presente em diversas manifestações musicais e culturais.

- I. Altura do Som (15 minutos): Aprofundar o conceito de altura do som e sua relação direta com a frequência. Discutir como a frequência fundamental da corda do berimbau é determinada por sua tensão, comprimento e densidade. Demonstrar como o tocador, ao pressionar o dobrão em diferentes pontos da corda, altera seu comprimento efetivo e, conseqüentemente, a frequência da nota produzida (altura). Utilizar um afinador eletrônico ou aplicativo para mostrar as diferentes frequências das notas do berimbau.
- II. Timbre do Som (20 minutos): Explicar que o timbre é a "cor" do som, que permite distinguir instrumentos mesmo quando tocam a mesma nota. Relacionar o timbre à presença e intensidade dos harmônicos. Discutir como o material da corda, a forma da cabaça, o ponto de percussão e o

uso do caxixi influenciam o timbre do berimbau. Comparar o timbre do berimbau com o de outros instrumentos para reforçar o conceito.

- III. Ressonância e a Cabaça (15 minutos): Retomar o conceito de ressonância, focando no papel da cabaça como ressonador. Explicar como a cabaça amplifica o som da corda quando suas frequências de ressonância coincidem com as da corda. Demonstrar como a manipulação da cabaça contra o corpo do tocador altera as condições de contorno da cabaça, modificando suas frequências de ressonância e, conseqüentemente, a intensidade e o timbre do som. Isso serve como uma situação de estudo vygotskyana, onde a interação com o instrumento e a observação das mudanças sonoras levam à construção de um conhecimento mais aprofundado sobre ressonância e suas aplicações práticas. O professor pode propor que os alunos experimentem com a cabaça, observando as mudanças no som ao abri-la e fechá-la, e discutindo o porquê dessas mudanças. Esta atividade prática e interativa estimula a reflexão e a formulação de hipóteses, promovendo uma aprendizagem mais ativa e significativa.

4.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

Para a avaliação da sequência didática, propõe-se uma abordagem formativa e contínua, visando acompanhar o desenvolvimento dos estudantes em relação aos objetivos de aprendizagem propostos e às competências da BNCC. A avaliação deve considerar não apenas a construção de conceitos, mas também o desenvolvimento de habilidades, a participação e o engajamento dos estudantes. Os métodos de avaliação devem estar alinhados com os princípios dos Três Momentos Pedagógicos e com a proposta de uma Alfabetização Científica Cultural. Sugere-se a utilização de uma combinação de instrumentos avaliativos:

1. Observação Participativa: O professor deve observar ativamente a participação dos alunos nas discussões em grupo, na formulação de perguntas e hipóteses, e na realização das atividades práticas. O empenho e a colaboração são critérios importantes. Deve-se uma

atenção especial à capacidade dos alunos de formular perguntas, levantar hipóteses e interagir com os conceitos e com o berimbau.

2. **Registros Escritos:** Os registros individuais e em grupo (como as anotações de observações e perguntas na Problematização Inicial, e as respostas às questões propostas na Organização do Conhecimento) servem como evidências do processo de aprendizagem e da evolução das concepções dos alunos. A análise desses registros permitirá identificar o nível de compreensão dos conceitos e as lacunas de conhecimento.
3. **Produção de Materiais:** Na etapa de Aplicação do Conhecimento, os alunos podem ser solicitados a produzir materiais (relatórios, apresentações, modelos, vídeos curtos) que demonstrem a aplicação dos conceitos aprendidos em novas situações ou na análise de outros instrumentos musicais. A qualidade da argumentação e a clareza na explicação dos fenômenos físicos serão avaliadas.
4. **Discussões e Debates:** A participação em discussões e debates, especialmente na etapa de Práxis do Conhecimento, permite avaliar a capacidade dos alunos de articular seus conhecimentos, defender ideias e interagir de forma construtiva.
5. **Questionários Conceituais (Opcional):** Questionários curtos e formativos podem ser aplicados ao longo da sequência para diagnosticar a compreensão dos alunos sobre conceitos específicos, evitando o caráter punitivo de uma prova tradicional, constantemente focada na atribuição de notas. O foco desse instrumento deve ser identificar lacunas e ajustar a abordagem pedagógica.

É fundamental que a avaliação seja um processo contínuo de feedback, tanto para o aluno quanto para o professor, visando aprimorar o processo de ensino-aprendizagem. A autoavaliação e a avaliação por pares também podem ser incentivadas para promover a reflexão e a responsabilidade dos estudantes sobre seu próprio aprendizado.

4.6 PLANOS DE AULA

Nesta seção, apresentamos os planos de aula detalhados que compõem a sequência didática "O Berimbau de Barriga no Ensino de Acústica", desenvolvida ao longo deste trabalho. Cada plano de aula foi concebido para operacionalizar os princípios teóricos e metodológicos discutidos nos capítulos anteriores, em especial a abordagem dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov, fundamentada em uma visão dialógica e libertária da educação, profundamente inspirada pelo pensamento de Paulo Freire.

É crucial ressaltar que, embora os planos de aula incorporem as Competências e Habilidades da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), conforme propõe a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei nº 9.394/1996) (BRASIL, 1996, p. 1), especialmente em artigos como o Art. 26, que estabelece a base nacional comum para os currículos, e o Art. 9º, que define as competências da União em estabelecer diretrizes, a finalidade do "saber fazer" do aluno não se limita, nessa proposta, a uma concepção tecnicista ou meramente instrumental do conhecimento. Longe de buscar um "treinamento" para a resolução de demandas comerciais ou a reprodução mecânica de fórmulas, o desenvolvimento dessas habilidades na perspectiva freireana visa a emancipação do indivíduo. O objetivo primordial é capacitar o estudante a exercer o pensamento crítico, a participar ativamente dos processos democráticos e a alcançar a verdadeira liberdade do ser e do saber ser.

Assim, cada atividade e cada objetivo de aprendizagem traçados nos planos de aula buscam transcender a mera aquisição de competências técnicas. Eles são desenhados para fomentar a curiosidade epistemológica, a reflexão crítica sobre os fenômenos naturais e culturais, e a construção de um conhecimento que empodere o aluno a compreender e intervir em sua realidade. Acreditamos que o ensino de Ciências da Natureza deve ter uma finalidade em si mesmo: a formação de indivíduos autônomos, capazes de questionar, criar e transformar, contribuindo para uma sociedade mais justa e equitativa. Os planos de aula a seguir são a materialização dessa visão, buscando harmonizar as exigências curriculares com uma pedagogia que valoriza a integralidade do ser humano e a sua capacidade de ser livre.

4.6.1 Aula 1

PLANO DE AULA

Unidade Escolar/NTE:					
Federal ()	Estadual (<input checked="" type="checkbox"/>)	Municipal ()	Privada ()	Comunitária ()	Outros ()
Coordenador(a):					
Componente Curricular:		Física			
Turma:	2º ano	Ano letivo:			
Professor responsável:					
Conteúdo:		Ondas mecânicas			
Tema:		Primeiras impressões sobre o som do berimbau – produção e propagação do som			
Objetivo geral:		Despertar o interesse dos alunos pela acústica, relacionando ciência e cultura por meio da investigação do som produzido pelo berimbau de barriga.			
Objetivos específicos: deve-se responder à pergunta: "o que será ensinado nessa aula?".		Identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre som, instrumentos musicais e o berimbau.			
		Estimular a formulação de hipóteses sobre a produção e propagação do som no berimbau.			
		Desenvolver a curiosidade científica por meio de observação e questionamento.			
		Registrar e organizar perguntas que possam nortear investigações futuras sobre acústica.			
Conceito alvo:		Produção e propagação do som			
Conceitos-chave:		Vibração, som, meio material, frequência, amplitude, reflexão, ressonância, cultura afro-brasileira			
Conhecimentos prévios:		Experiências sensoriais com som; contato com música ou rodas de capoeira; percepção auditiva de instrumentos de corda.			
Articulações culturais, sociais, tecnológicas e de inovação desejáveis:		Cultura afro-brasileira (capoeira, berimbau, ancestralidade); ciência como ferramenta para compreender manifestações culturais; tecnologias de mídia.			

Caracterização/descrição das atividades (estimar a duração de cada atividade):	<p>Abertura e contextualização cultural (15 min): Audição de roda de capoeira, demonstração do berimbau, conversa inicial.</p> <hr/> <p>Exploração e questionamento (20 min): Observação em grupos, levantamento de hipóteses.</p> <hr/> <p>Compartilhamento e sistematização (15 min): Socialização das perguntas e organização no quadro.</p>
Recursos didáticos	<p>Berimbau(s) de barriga (diferentes tamanhos de cabaça); Caixa de som e projetor; Vídeos curtos de rodas de capoeira; Quadro branco e marcadores; Papéis e canetas para anotações em grupo.</p>
Memória de cálculo	<p>Equação da onda: $y(x, t) = A \cos(kx - \omega t + \varphi)$ Relação: $v = f \cdot \lambda$ Ressonância e modos normais (explorados em aulas futuras)</p>
Atividades:	<p>Abertura sensível e cultural (15 minutos): Audição de vídeo de uma roda de capoeira com foco no berimbau. Em seguida, apresentação do instrumento físico e breve execução de toques. Os alunos compartilham oralmente suas impressões, sensações e conhecimentos prévios sobre o berimbau e a capoeira. Esta etapa busca aproximar afetivamente os estudantes do tema.</p> <p>Exploração ativa em grupos (20 minutos): Os alunos são divididos em pequenos grupos (3 a 4 integrantes). Cada grupo examina o berimbau, observa suas partes e discute como o som pode ser produzido, modificado e amplificado. As observações são registradas em papel, priorizando a formulação de perguntas e hipóteses iniciais, mesmo que intuitivas. O professor circula entre os grupos, dialogando, provocando reflexões e anotando aspectos relevantes para avaliação diagnóstica.</p> <p>Compartilhamento coletivo e sistematização (15 minutos): Representantes de cada grupo apresentam suas perguntas e hipóteses à turma. O professor registra as questões no quadro, agrupando-as por temas. Com base nesse mapeamento, constrói-se coletivamente uma lista de tópicos a serem investigados nas aulas seguintes (ex: vibração da corda, função da cabaça, diferença entre sons, etc.). Esse momento é essencial</p>

	<p>para transformar curiosidade em projetos investigativos de aprendizagem.</p> <p>(Opcional) Tarefa de casa: Os alunos são convidados a realizar uma breve pesquisa sobre a história do berimbau ou sobre o que é o som e como ele se propaga. Essa atividade prepara o terreno conceitual para a próxima aula e incentiva a autonomia intelectual.</p>
Avaliação:	Participação, qualidade das perguntas, registros dos grupos, sensibilidade cultural e curiosidade científica.

4.6.2 Aula 2

Unidade Escolar/NTE:					
Federal ()	Estadual ()	Municipal ()	Privada ()	Comunitária (..)	Outros ()
Coordenador(a):					
Componente Curricular:		Física			
Turma:	2º ano	Ano letivo:			
Professor responsável:					
Conteúdo:		Ondas mecânicas e som			
Tema:		Introdução aos conceitos físicos de ondas e som a partir do berimbau			
Objetivo geral:		Iniciar a construção formal dos conceitos físicos relacionados às ondas e à propagação do som, utilizando o berimbau como ponto de partida contextualizado.			
Objetivos específicos:		Compreender o conceito de onda como perturbação que transporta energia.			
		Diferenciar ondas transversais e longitudinais.			
		- Identificar as principais características das ondas: amplitude, comprimento de onda, frequência, período e velocidade.			
		Relacionar a vibração da corda do berimbau com a produção e propagação de ondas sonoras.			
Conceito alvo:		Ondas			
		Desenvolver a capacidade de observar, questionar e construir modelos explicativos sobre fenômenos físicos.			
Conceitos-chave:		Perturbação, meio de propagação, energia, vibração, som, frequência, amplitude, comprimento de onda, velocidade, ondas transversais e longitudinais.			
Conhecimentos prévios:		Experiências auditivas e sensoriais com o berimbau; noções intuitivas de som, vibração e instrumentos musicais.			
Articulações culturais, sociais, tecnológicas e de inovação desejáveis:		Valorização do berimbau como instrumento afro-brasileiro; uso de vídeos e simulações como apoio didático; construção do conhecimento a partir do universo cultural dos estudantes.			

Caracterização/descrição das atividades (estimar a duração de cada atividade):	Revisão e Conexão com a Aula Anterior (10 min): Retomar perguntas levantadas anteriormente. Demonstração do berimbau e reavaliação das hipóteses.
	Introdução ao Conceito de Onda (20 min): Explicação dialogada com uso de cordas, molas e analogias. Diferenciação entre ondas transversais e longitudinais. Identificação dos elementos das ondas.
	Propagação do Som (20 min): Explicação da natureza longitudinal do som, compressões e rarefações. Relação entre vibração da corda do berimbau e propagação sonora. Discussão guiada.
Recursos didáticos	Berimbau de barriga; Cordas e molas para experimentos; Quadro branco e marcadores; Vídeos ilustrativos ou simulações; Folhas para anotações individuais e em grupo
Memória de cálculo	Equação da onda: $y(x, t) = A \cdot \cos(kx - \omega t + \phi)$ Relação fundamental da onda: $v = f \cdot \lambda$ Frequência e período: $f = \frac{1}{T}$ Velocidade de propagação em corda esticada: $v = \sqrt{\frac{F_t}{\mu}}$ onde F_t é a tensão da corda e μ é a densidade linear de massa da corda.
Atividades	Revisão e Conexão com a Aula Anterior (10 min): A aula começa com uma retomada interativa das hipóteses e perguntas levantadas na etapa anterior. O professor apresenta novamente o berimbau, demonstrando alguns de seus toques. Os alunos são incentivados a refletir sobre suas observações prévias e ajustar ou aprofundar suas hipóteses, com base nas discussões realizadas até o momento. Esse momento reforça a ligação entre a problematização inicial e os conceitos científicos abordados. 2. Introdução ao Conceito de Onda (20 min): O professor apresenta o conceito de ondas de forma dialogada, utilizando cordas e molas como exemplos práticos para ilustrar a propagação de ondas transversais e longitudinais. Os alunos participam de demonstrações manipulando os materiais, observando

	<p>como as ondas se comportam em diferentes meios e identificando elementos como crista, vale, comprimento de onda e frequência. Analogias visuais, como o movimento de pessoas em uma onda de estádio, são usadas para facilitar o entendimento.</p> <p>3. Propagação do Som (20 min): A transição para o som como onda longitudinal é feita relacionando a vibração da corda do berimbau com as compressões e rarefações do ar que levam o som até os ouvintes. O professor utiliza desenhos no quadro ou simulações digitais para ilustrar a relação entre frequência e altura, amplitude e intensidade sonora. Os alunos são incentivados a correlacionar o funcionamento do berimbau com os conceitos de propagação sonora e ressonância, consolidando a ponte entre teoria e prática.</p>
Avaliação:	Participação nas discussões; clareza na compreensão dos conceitos; qualidade das perguntas; envolvimento nas atividades práticas; observações do professor durante a aula.

4.6.3 Aula 3

Unidade Escolar/NTE:					
Federal ()	Estadual ()	Municipal ()	Privada ()	Comunitária ()	Outros ()
Coordenador(a):					
Componente Curricular:		Física			
Turma:	2º ano	Ano letivo:			
Professor responsável:					
Conteúdo:		Ondas e Acústica			
Tema:		Intensidade, Interferência e Ondas Estacionárias			
Objetivo geral:		Compreender os fenômenos acústicos complexos, como intensidade, interferência e ondas estacionárias, e sua relação com o funcionamento do berimbau de barriga.			
Objetivos específicos:		Apreender o conceito de intensidade sonora e nível sonoro, e sua relação com a amplitude da onda e a percepção humana.			
		Analisar o fenômeno da interferência de ondas (construtiva e destrutiva) e sua importância na formação de ondas estacionárias.			
		Interpretar a formação de ondas estacionárias em cordas e tubos, e o conceito de harmônicos.			
		Relacionar a manipulação do berimbau (força da percussão, manipulação da cabaça e do dobrão) com os conceitos de intensidade, interferência e harmônicos.			
Conceito alvo:		Acústica do Berimbau, Ressonância			
Conceitos-chave:		Intensidade sonora, Nível sonoro, Decibel, Interferência (construtiva e destrutiva), Princípio da superposição, Ondas estacionárias, Nós, Ventres, Harmônicos, Frequência fundamental, Timbre.			
Conhecimentos prévios:		Conceitos básicos de ondas (amplitude, comprimento de onda, frequência, período e velocidade de propagação), vibração, propagação sonora.			
Articulações culturais, sociais, tecnológicas e de inovação desejáveis:		Valorização do berimbau como instrumento musical e objeto de estudo científico-cultural; conexão entre saberes populares e conhecimento científico; discussão sobre a presença da física em manifestações culturais.			
Caracterização/descrição das atividades (estimar a		Intensidade e Nível Sonoro (15 minutos): •Abordar o conceito de intensidade sonora como a			

<p>duração de cada atividade):</p>	<p>energia transportada pela onda por unidade de área.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Explicar a relação entre intensidade e amplitude da onda. •Introduzir a escala decibel como uma medida logarítmica da intensidade, mais próxima da percepção humana. •Demonstrar no berimbau como a força da percussão da baqueta e a manipulação da cabaça afetam a intensidade do som, conectando à ideia de potência sonora. <hr/> <p>Interferência de Ondas (15 minutos):</p> <ul style="list-style-type: none"> •Apresentar o princípio da superposição e o fenômeno da interferência (construtiva e destrutiva). •Utilizar exemplos visuais (ondas na água) ou simulações para ilustrar como duas ondas podem se combinar. •Discutir como a interferência é crucial para a formação de ondas estacionárias na corda do berimbau. <hr/> <p>Ondas Estacionárias e Harmônicos (20 minutos):</p> <ul style="list-style-type: none"> •Explicar a formação de ondas estacionárias em cordas e tubos. •Demonstrar no berimbau a existência de nós e ventres na corda vibrante. •Introduzir o conceito de harmônicos como modos de vibração específicos que resultam em frequências múltiplas da frequência fundamental. •Discutir como a corda do berimbau, ao vibrar, produz não apenas a nota fundamental, mas também uma série de harmônicos que contribuem para o timbre do instrumento. •Explorar como a manipulação do dobrão altera o comprimento efetivo da corda, mudando os harmônicos produzidos.
<p>Recursos didáticos</p>	<p>Berimbau de barriga (para demonstrações)</p> <ul style="list-style-type: none"> •Materiais para experimentos simples de ondas (cordas, molas, bacias com água - se aplicável para demonstrações rápidas de interferência) •Software de simulação de ondas (opcional, para visualização de conceitos abstratos) •Quadro branco/lousa, projetor.

Memória de cálculo	$I = \frac{W}{4\pi r^2}; \beta = (10 \text{ dB}) \log\left(\frac{I}{I_0}\right);$ $y(x, t) = (2A) \sin(kx) \sin(\omega t)$
Atividades	<p>1. Intensidade e Nível Sonoro (15 minutos): Nesta etapa, o professor iniciará a discussão sobre a intensidade sonora, explicando-a como a energia transportada pela onda por unidade de área. Será abordada a relação direta entre a intensidade e a amplitude da onda. Para contextualizar a percepção humana, será introduzida a escala decibel como uma medida logarítmica da intensidade. A demonstração prática no berimbau será crucial: o professor mostrará como a força da percussão da baqueta e a manipulação da cabaça afetam diretamente a intensidade do som produzido, conectando esses atos à ideia de potência sonora e à experiência auditiva dos alunos.</p> <p>2. Interferência de Ondas (15 minutos): Em seguida, será apresentado o princípio da superposição e o fenômeno da interferência de ondas, diferenciando a interferência construtiva da destrutiva. Para facilitar a compreensão de um conceito que pode ser abstrato, serão utilizados exemplos visuais, como ondas na água, ou simulações digitais, para ilustrar como duas ondas podem se combinar. A discussão será direcionada para a importância da interferência na formação das ondas estacionárias na corda do berimbau, preparando o terreno para o próximo tópico.</p> <p>3. Ondas Estacionárias e Harmônicos (20 minutos): O foco desta seção será a explicação da formação de ondas estacionárias em cordas e tubos. Através de demonstrações no próprio berimbau, o professor evidenciará a existência de nós e ventres na corda vibrante, tornando o conceito mais concreto. Será introduzido o conceito de harmônicos como modos de vibração específicos que resultam em frequências múltiplas da frequência fundamental. A discussão aprofundará como a corda do berimbau, ao vibrar, produz não apenas a nota fundamental, mas também uma série de harmônicos que são essenciais para o timbre característico do instrumento. Por fim, será explorado como a manipulação do dobrão altera o comprimento efetivo da corda, modificando os harmônicos produzidos e, conseqüentemente, a sonoridade do berimbau.</p>
Avaliação:	<p>Observação da participação dos alunos nas discussões e demonstrações.</p> <p>Questões orais para verificar a compreensão dos conceitos de intensidade, interferência e ondas estacionárias.</p> <p>Solicitar que os alunos expliquem, com suas palavras,</p>

	como a física do som se manifesta no berimbau, focando nos conceitos abordados na aula.
--	---

4.6.4 Aula 4

Unidade Escolar/NTE:					
Federal ()	Estadual ()	Municipal ()	Privada ()	Comunitária (..)	Outros ()
Coordenador(a):					
Componente Curricular:		Física			
Turma:	2º ano	Ano letivo:			
Professor responsável:					
Conteúdo:		Ondas e Acústica			
Tema:		Transição e Aplicação do Conhecimento: A Física do Berimbau e a Relação Ciência-Cultura			
Objetivo geral:		Consolidar os conceitos de ondulatória e acústica aprendidos, preparando os alunos para mobilizá-los em novas situações e promovendo a reflexão sobre a relação entre ciência e cultura.			
Objetivos específicos:		Revisar e integrar os principais conceitos de ondulatória e acústica abordados nas aulas anteriores.			
		Discutir a conceituação física por trás do funcionamento do berimbau.			
		Promover a discussão sobre a importância do berimbau como objeto de estudo científico e cultural.			
		Refletir sobre a presença da física no cotidiano e em outras manifestações culturais.			
Conceito alvo:		Integração de Conceitos Físicos e Relação Ciência-Cultura			
Conceitos-chave:		Ondulatória, Acústica, Ondas estacionárias, Intensidade, Frequência, Amplitude, Altura, Timbre, Ciência, Cultura, Berimbau.			
Conhecimentos prévios:		Conceitos de ondas, ondas sonoras, intensidade, interferência, ondas estacionárias e harmônicos (abordados nas Aulas 2 e 3).			
Articulações culturais, sociais, tecnológicas e de inovação desejáveis:		Valorização da cultura afro-brasileira; conexão entre saberes populares e conhecimento científico; discussão sobre a presença da física em manifestações culturais; uso de tecnologias digitais (simuladores).			
Caracterização/descrição das atividades (estimar a duração de cada atividade):		Revisão Integrada dos Conceitos (25 minutos)			
		Discussão sobre a Relação Ciência-Cultura (25 minutos)			
Recursos didáticos		Berimbau de barriga (para demonstrações) •Quadro branco/lousa, projetor. •Simuladores online (The Physics Classroom, PhET -			

	opcional).
Memória de cálculo	<p>Revisão das relações entre frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação ($v = f \cdot \lambda$).</p> <ul style="list-style-type: none"> •Revisão da relação entre intensidade e amplitude. •Revisão da formação de ondas estacionárias em cordas.
Atividades	<p>1. Revisão Integrada dos Conceitos (25 minutos): Nesta etapa, o professor conduzirá uma revisão interativa dos principais conceitos de ondulatória e acústica abordados nas Aulas 2 e 3. O berimbau será o objeto central dessa revisão, servindo como um elo para conectar os diferentes conceitos. O professor pode propor um quiz rápido para verificar a compreensão, promover uma discussão guiada para que os alunos articulem os conceitos, ou utilizar simuladores online (como The Physics Classroom ou PhET) para visualizar e consolidar o entendimento. O foco será na interconexão entre os conceitos, por exemplo, como a frequência da onda estacionária na corda se relaciona com a altura do som, e como a intensidade está ligada à amplitude, mostrando a unidade da física do som no berimbau.</p> <p>2. Discussão sobre a Relação Ciência-Cultura (25 minutos): Este momento será dedicado a um debate aberto sobre a importância do berimbau não apenas como um instrumento musical e cultural, mas também como um objeto de estudo científico. O professor guiará a discussão sobre como a física explica os fenômenos observados no berimbau e como o conhecimento científico pode enriquecer a apreciação cultural do instrumento. Os alunos serão incentivados a refletir sobre a presença da física em seu cotidiano e em outras manifestações culturais, ampliando sua percepção sobre a relevância da ciência em diferentes contextos.</p>
Avaliação:	<p>Participação ativa nas discussões e na revisão dos conceitos.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Capacidade de relacionar os conceitos físicos com o funcionamento do berimbau e com o contexto cultural. •Qualidade das reflexões apresentadas sobre a relação entre ciência e cultura.

4.6.5 Aula 5

Unidade Escolar/NTE:					
Federal ()	Estadual ()	Municipal ()	Privada ()	Comunitária (..)	Outros ()
Coordenador(a):					
Componente Curricular:		Física			
Turma:	2º ano	Ano letivo:			
Professor responsável:					
Conteúdo:		Ondas e Acústica			
Tema:		Altura, Timbre e a Ressonância do Berimbau e Outros Instrumentos			
Objetivo geral:		Consolidar a aprendizagem, aplicando os conceitos de ondulatória e acústica na análise de fenômenos do cotidiano e de outros instrumentos musicais, e refletir sobre a relação entre ciência, tecnologia, sociedade e cultura.			
Objetivos específicos:		Aprofundar o conceito de altura do som e sua relação com a frequência.			
		Compreender o conceito de timbre e sua relação com a presença e intensidade dos harmônicos.			
		Retomar e aplicar o conceito de ressonância, focando no papel da cabaça do berimbau como ressonador.			
		Analisar comparativamente os fenômenos acústicos no berimbau e em outros instrumentos musicais.			
		Refletir sobre a aplicação da acústica em diferentes contextos e a conexão entre ciência e cultura.			
Conceito alvo:		Aplicação dos Conceitos de Acústica em Instrumentos Musicais e no Cotidiano			
Conceitos-chave:		Altura do som, Frequência, Timbre, Harmônicos, Ressonância, Ressonador, Acústica de instrumentos musicais, Ciência-Tecnologia-Sociedade-Cultura (CTSC).			
Conhecimentos prévios:		Conceitos de ondas, ondas sonoras, intensidade, interferência, ondas estacionárias e harmônicos (abordados nas Aulas 2, 3 e 4).			
Articulações culturais, sociais, tecnológicas e de inovação desejáveis:		Análise comparativa de instrumentos musicais de diferentes culturas; valorização da cultura afro-brasileira através do berimbau; discussão sobre a aplicação da física em tecnologias e no cotidiano; estímulo à curiosidade e ao pensamento investigativo.			
Caracterização/descrição das atividades (estimar a		Altura do Som (15 minutos)			

duração de cada atividade):	Timbre do Som (20 minutos)
	Ressonância e a Cabaça (15 minutos)
Recursos didáticos	<p>Berimbau de barriga.</p> <p>Outros instrumentos musicais (violão, flauta etc.) para comparação (se possível).</p> <p>Afinador eletrônico ou aplicativo de afinador.</p> <p>Quadro branco/lousa, projetor.</p> <p>Artigos, vídeos ou notícias que abordem a aplicação da acústica em diferentes contextos (engenharia de som, medicina etc. - opcional).</p>
Memória de cálculo	<p>Revisão da relação entre frequência e altura do som.</p> <p>Discussão qualitativa sobre a influência de tensão, comprimento e densidade na frequência de cordas vibrantes.</p> <p>Discussão qualitativa sobre a formação de harmônicos e sua relação com o timbre.</p>
Atividades	<p>1. Altura do Som (15 minutos): Nesta etapa, o professor aprofundará o conceito de altura do som, enfatizando sua relação direta com a frequência. Será discutido como a frequência fundamental da corda do berimbau é determinada por fatores como sua tensão, comprimento e densidade. Através de demonstrações práticas, o professor mostrará como o tocador, ao pressionar o dobrão em diferentes pontos da corda, altera seu comprimento efetivo e, conseqüentemente, a frequência da nota produzida (altura). O uso de um afinador eletrônico ou aplicativo será fundamental para visualizar e comparar as diferentes frequências das notas do berimbau, tornando o conceito mais concreto e mensurável.</p> <p>2. Timbre do Som (20 minutos): Será explicado que o timbre é a “cor” do som, que permite distinguir instrumentos mesmo quando tocam a mesma nota. A relação do timbre com a presença e intensidade dos harmônicos será explorada. Será discutido como o material da corda, a forma da cabaça, o ponto de percussão e o uso do caxixi influenciam o timbre específico do berimbau. Para reforçar o conceito, o professor poderá comparar o timbre do berimbau com o de outros instrumentos musicais (violão, flauta etc.), destacando as características que tornam cada som único.</p> <p>3. Ressonância e a Cabaça (15 minutos): Será retomado o conceito de ressonância, com foco especial no papel da cabaça como ressonador. O professor explicará como a cabaça amplifica o som da corda quando suas frequências de ressonância coincidem com as da corda.</p>

	<p>Será demonstrado como a manipulação da cabaça contra o corpo do tocador altera as condições de contorno da cabaça, modificando suas frequências de ressonância e, conseqüentemente, a intensidade e o timbre do som. Esta demonstração servirá como uma situação de estudo vygotskyana, onde a interação com o instrumento e a observação das mudanças sonoras levam à construção de um conhecimento mais aprofundado sobre ressonância e suas aplicações práticas. O professor pode propor que os alunos experimentem com a cabaça, observando as mudanças no som ao abri-la e fechá-la, e discutindo o porquê dessas mudanças. Esta atividade prática e interativa estimulará a reflexão e a formulação de hipóteses, promovendo uma aprendizagem mais ativa e significativa.</p>
<p>Avaliação:</p>	<p>Participação ativa nas discussões e demonstrações.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Capacidade de identificar e diferenciar altura e timbre em diferentes sons e instrumentos. •Compreensão do papel da ressonância na amplificação do som do berimbau. •Habilidade em relacionar os conceitos físicos com a manipulação do berimbau e de outros instrumentos.

REFERÊNCIAS

BNCC – Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Ensino Médio)
 BONJORNO, José Roberto; RAMOS, Clinton Marcico; PRADO, Eduardo de Pinho;
 BONJORNO, Valter; BONJORNO, Mariza Azzolini; CASEMIRO, Renato;
 BONJORNO, Regina de Fátima Souza Azenha. Física 2: termologia, óptica,
 ondulatória. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta monografia buscou investigar a relevância e a aplicabilidade de uma sequência didática centrada no berimbau de barriga para o ensino de acústica no Ensino Médio. A pesquisa foi motivada pela necessidade de um ensino de Física mais contextualizado e culturalmente relevante, que valorize os saberes locais e atenda às diretrizes da Lei 10.639/2003, que torna obrigatório o ensino de história e cultura afro-brasileira. A questão norteadora buscou compreender como essa abordagem poderia contribuir para uma aprendizagem dialógica, culturalmente contextualizada e capaz de transformar a curiosidade ingênua em curiosidade epistemológica.

Para tanto, a metodologia adotada foi de natureza qualitativa e exploratória, com uma abordagem bibliográfica aprofundada. Foram analisados os fundamentos teóricos da ondulatória e acústica aplicáveis ao berimbau, os princípios dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) de Delizoicov e suas contribuições para a alfabetização científica e a relação Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), além de um diálogo com as ideias de Paulo Freire e Lev Vygotsky.

No Capítulo 2, aprofundou-se nos conceitos de ondas sonoras, velocidade do som, altura, intensidade e timbre, bem como nos fenômenos ondulatórios como reflexão, ressonância e ondas estacionárias. Demonstrou-se como o berimbau de barriga, com sua corda vibrante, cabaça ressonadora e a manipulação do dobrão e da vareta, funciona como um sistema físico complexo, ideal para a exploração desses conceitos. A análise detalhada do funcionamento acústico do berimbau revelou a riqueza de fenômenos físicos presentes em sua sonoridade e a potencialidade de utilizá-lo como um laboratório vivo para o ensino de Física.

O Capítulo 3 dedicou-se ao referencial didático-pedagógico, explorando os Três Momentos Pedagógicos (3MP) – Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento – como uma estrutura robusta para o ensino de Física. A discussão sobre a Alfabetização Científica e a abordagem CTS ressaltou a importância de formar cidadãos capazes de compreender e intervir criticamente no mundo. O diálogo entre as concepções de Paulo Freire, com sua ênfase na educação libertária e dialógica, e Lev Vygotsky, com a mediação, forneceu a base para uma prática pedagógica que valoriza o conhecimento prévio do aluno e o contextualiza culturalmente.

Com base nesses referenciais, o Capítulo 4 apresentou a proposta de sequência didática intitulada "O Berimbau de Barriga no Ensino de Acústica". A sequência foi estruturada em cinco aulas, seguindo os 3MP, e detalhou as atividades, objetivos e recursos para cada etapa. A Aula 1 (Problematização Inicial) busca despertar a curiosidade e levantar conhecimentos prévios. As Aulas 2, 3 e parte da aula 4 (Organização do Conhecimento) aprofundam os conceitos de ondulatória e acústica. As Aulas 4 e 5 (Aplicação do Conhecimento) visam a consolidação e a mobilização dos conceitos em novas situações, incluindo a análise comparativa com outros instrumentos e a reflexão sobre a relação ciência-cultura. Os métodos de avaliação propostos, como registros escritos, observação participativa e discussões, visam um acompanhamento contínuo e formativo do aprendizado.

Os resultados esperados com a implementação desta sequência didática incluem a construção de um conhecimento significativo em acústica, a valorização da cultura afro-brasileira no currículo escolar, o desenvolvimento do pensamento crítico e investigativo dos estudantes, e a promoção de uma aprendizagem mais engajadora e inclusiva. Acredito que a utilização do berimbau como objeto de estudo pode transformar a percepção dos alunos sobre a Física, tornando-a mais acessível, relevante e conectada com suas realidades culturais.

Em conclusão, esta monografia demonstra a viabilidade e a importância de integrar a cultura afro-brasileira no ensino de Física, utilizando o berimbau de barriga como um potente mediador. A proposta de sequência didática oferece um caminho para que educadores possam promover uma educação científica que seja ao mesmo tempo rigorosa, contextualizada e libertária, contribuindo para a formação de cidadãos mais conscientes e engajados com a ciência e com a sociedade. Espera-se que este trabalho sirva como base para futuras pesquisas e para a implementação de práticas pedagógicas inovadoras que celebrem a diversidade étnico-cultural e promovam uma educação mais equitativa e significativa.

REFERÊNCIAS

- ABIB, P. R. J. Capoeira Angola: cultura popular e o jogo dos saberes na roda. 2004. 173f. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Sociais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- ABREU, J. B.; FREITAS, N. M. DA S.. PROPOSIÇÕES DE INOVAÇÃO DIDÁTICA NA PERSPECTIVA DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS: TENSÕES DE UM PROCESSO FORMATIVO. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* (Belo Horizonte), v. 19, p. e2734, 2017.
- Assunção, Matthias Röhrig. (2005). *Capoeira: The History of an Afro-Brazilian Martial Art*. Routledge.
- AULER, D.; DELIZOICOV, D.. ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA PARA QUÊ?. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* (Belo Horizonte), v. 3, n. 2, p. 122–134, jul. 2001.
- BATALHA, Ladislau. *Angola: costumes*. Lisboa: Typographia da Companhia Nacional Editora, 1889.
- BRASIL. Dossiê. Inventário para registro e salvaguarda da capoeira como patrimônio cultural do Brasil. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional / Ministério da Cultura, Brasília: MEC, 2007.
- BRASIL. Lei nº 14.532, de 11 de janeiro de 2023. Altera a Lei nº 7.716, de 5 de janeiro de 1989 (Lei do Crime Racial), e o Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940 (Código Penal), para tipificar como crime de racismo a injúria racial [...]. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ed. extra B, p. 1, 11 jan. 2023.
- BRASIL. Lei nº 10.639, de 9 de janeiro de 2003. Inclui a obrigatoriedade da temática “História e Cultura Afro-Brasileira” no currículo oficial da rede de ensino. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 10 jan. 2003, seção 1, p.1.
- BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional.
- Brasil. Ministério da Educação. (2006). *PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília, DF: MEC, SEMTEC.
- BRITO, Sílvio de Almeida. *Capoeira: de arte marginal a esporte nacional*. Rio de Janeiro: Gráfica e Editora DEDECO, 1983.
- Burlamaqui, Aníbal. (1928). *Gymnástica Nacional (Capoeiragem) Methodizada e Regrada*. Rio de Janeiro: Typ. Leuzinger.
- CAMPOS, Hélio. *Capoeira na Universidade: uma trajetória de resistência*. Salvador: SCT, EDUFBA, 2001. 184 p.
- CAMPOS, Helio. *Capoeira Regional: a escola de Mestre Bimba*. Salvador: EDUFBA, 2009. 306 p.

Capelo, H., & Ivens, R. (1881). De Benguella ás Terras de Iácca. Lisboa: Imprensa Nacional.

CARNEIRO, Edison. Negros Bantos: notas de ethnographia religiosa e de folk-lore. 2. ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1970.

Carneiro, Edison.(1975).Capoeira.[2ª edição, 1977].Rio de Janeiro: Editora Civilização Brasileira.

Carvalho, Henrique Augusto Dias de. (1890). Ethnographia e historia tradicional dos povos da Lunda. Lisboa: Imprensa Nacional.

CASCUDO, Luís da Câmara. Dicionário do Folclore Brasileiro. 3. ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 1974.

CUNHA, I. M. C. F. da; VIEIRA, L. R.; TAVARES, L. C. V.; SAMPAIO, T. M. V. CAPOEIRA: A MEMÓRIA SOCIAL CONSTRUÍDA POR MEIO DO CORPO. Movimento, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 735–755, 2014. DOI: 10.22456/1982-8918.42052.

DEBRET, Jean-Baptiste. Viagem Pitoresca e Histórica ao Brasil. Tradução de Sérgio Milliet. São Paulo: Martins Fontes, 1940. 2 v.

DEBRET, Jean-Baptiste. Viagem Pitoresca e Histórica ao Brasil. Paris: Firmin Didot Frères, 1835.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André. Física. São Paulo: Editora Moderna, 1990.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André. Metodologia do ensino de ciências. São Paulo: Cortez, 1990.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Maria das Graças. Metodologia do ensino de ciências: fundamentos e práticas. São Paulo: Cortez, 2002.

Falcão, J. L. C., & Oliveira, L. C. V. (2021). O berimbau e o pneu: uma análise sobre apropriação tecnológica e identidade na capoeira. Revista Brasileira de Estudos da Homocultura, 4(08), 123-145. (ISSN: 2595-3206).

FALCÃO, José Luiz Cirqueira; DUARTE DE OLIVEIRA, Marcos. Do arco musical primitivo ao berimbau de barriga: a trajetória do instrumento mor da capoeira. RIDPHE_R Revista Iberoamericana do Patrimônio Histórico-Educativo, Campinas, SP, v. 7, n. 00, p. e021022, 2021

FERNANDES, C. DOS S.; MARQUES, C. A.; DELIZOICOV, D.. CONTEXTUALIZAÇÃO NA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS E A PERSPECTIVA EDUCACIONAL DE PAULO FREIRE. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 18, n. 2, p. 9–28, maio 2016.

FREIRE, Paulo. Extensão ou comunicação?. 7. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983. 93 p. (O Mundo, Hoje, v. 24).

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do oprimido*. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FREIRE, Paulo. *Educação e mudança*. 12. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1986.

GALLO, Priscila Maria. *Caxixi: um estudo do instrumento afro-brasileiro em práticas musicais populares na região de Salvador-BA*. 2012. 162 f. Dissertação (Mestrado em Música) – Escola de Música, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

GEHLEN, S. T.; DELIZOICOV, D.. O PAPEL DO PROBLEMA NO ENSINO DE CIÊNCIAS: COMPREENSÕES DE PESQUISADORES QUE SE REFERENCIAM EM VYGOTSKY. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, v. 15, n. 2, p. 45–63, maio 2013.

GEHLEN, S. T.; MALDANER, O. A.; DELIZOICOV, D.. Freire e Vygotsky: um diálogo com pesquisas e sua contribuição na educação em ciências. *Pro-Posições*, v. 21, n. 1, p. 129–148, jan. 2010.

GEHLEN, S. T.; MALDANER, O. A.; DELIZOICOV, D.. Momentos pedagógicos e as etapas da situação de estudo: complementaridades e contribuições para a Educação em Ciências. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 18, n. 1, p. 1–22, 2012.

GENNARI, Adilson. *História do Brasil em documentos*. São Paulo: Contexto, 2011.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

IPHAN (2007). *Inventário para registro e salvaguarda da capoeira como Patrimônio Cultural do Brasil*. Brasília: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.

Kandus, A., Minervini, A. D., & Veiga, J. S. (2006). A física no berimbau. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(3), 427-431.

Koster, Henry. (1816). *Travels in Brazil*. London: Longman, Hurst, Rees, Orme, and Brown.

Kubik, Gerhard. (1979). *Angolan traits in Black music, games and dances of Brazil: A study of African cultural extensions overseas*. Lisboa: Junta de Investigações Científicas do Ultramar.

Lacombe, Américo Jacobina, et al. (1988). *Rui Barbosa e a queima dos arquivos*. Rio de Janeiro: Fundação Casa de Rui Barbosa.

LARANJO, Marta Meira de Castro; SAAVEDRA FILHO, Nestor Cortez. Abordagem dialógico-problematizadora e interdisciplinar envolvendo mediação tecnológica, Ciências e Educação Física: análises e reflexões para uma educação emancipatória no ensino fundamental II. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*, v. 105, 2024.

Lima, J.J. Pedroso de. *Ouvido, Ondas e Vibrações*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2012.

Lima, Reginaldo Calado de. (2014). *Representações da Capoeira; O Cenário em Escolas de Maringá*. Dissertação (Mestrado em Educação) - Programa de Pós-

Graduação em Educação, Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

LORENZETTI, L.; DELIZOICOV, D.. ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA NO CONTEXTO DAS SÉRIES INICIAIS. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 3, n. 1, p. 45–61, jan. 2001.

MARINHO, Inezil Penna. Subsídios para o estudo da metodologia do treinamento da capoeiragem. Brasília, DF: Ministério da Educação e Cultura, 1980.

MELO, S. L. S. Física da música: a utilização da música para auxiliar no ensino de Física no Nível Médio. 2013. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D.. A CONSTRUÇÃO DE UM PROCESSO DIDÁTICO-PEDAGÓGICO DIALÓGICO: ASPECTOS EPISTEMOLÓGICOS. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 14, n. 3, p. 199–215, set. 2012.

Mukuna, Kazadi wa. (1979). Contribuição bantu na música popular brasileira. São Paulo: Global Editora.

NONATO, Felipe Fernandes; RIBEIRO, Marciel Aparecido; PALHARES, Leandro Ribeiro. A MUSICALIDADE DA CAPOEIRA: A CONSTRUÇÃO DO BERIMBAU COMO UM RITUAL PARA A CAPOEIRAGEM. Revista Acadêmica GUETO, [S. l.], v. 7, n. 15, 2024.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

OLIVEIRA, Josivaldo Pires de; LEAL, Luiz Augusto Pinheiro. Capoeira, identidade e gênero: ensaios sobre a história social da capoeira no Brasil. Salvador: EDUFBA, 2009. 200 p.

PALHARES, LEANDRO RIBEIRO. CAPOEIRA ANCESTRAL, UMA PRÁXIS AFRO-BRASILEIRA. EXPRESSA EXTENSÃO (UFPEL) , v. 25, p. 110-121, 2020.

PALHARES, Leandro Ribeiro. O berimbau ensina! O segredo de São Cosme quem sabe é São Damião, camará.... 2017. 168 f. Tese (Doutorado em Educação Física) – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

Pohl, Johann Emanuel. (1832). Reise im Innern von Brasilien. Wien.

REGO, Waldeloir. Capoeira Angola: ensaio sócio-etnográfico. Salvador: Itapoan, 1968. 417 p.

REIS, João José. A morte é uma festa: ritos fúnebres e revolta popular no Brasil do século XIX. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

RIBEIRO, M. A. ; NONATO, F. F. ; PALHARES, L. R. . Capoeira, Música e Oralidade: a língua portuguesa em todo o mundo. Revista de Pedagogia Social , v. 07, p. a. 06, 2019.

RIBEIRO, Yuri Hamayano Lopes. Berimbau: aspectos de sua modelização física. 2008. p.94. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) – Colegiado de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

RUFINO, L. Pedagogia das encruzilhadas Exu como Educação. Revista Exitus, [S. l.], v. 9, n. 4, p. 262–289, 2019.

RUFINO, Luiz. Exu e a pedagogia das encruzilhadas. 2017. 231 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

RUGENDAS, Johann Moritz. Viagem Pitoresca Através do Brasil. Tradução de Sérgio Milliet. São Paulo: Martins Editora, 1954.

SANTOS, Willian Grecillo dos. *A práxis enquanto forma de articulação entre realidade e conhecimento científico: contribuições para um ensino de física crítico-transformador*. 2021. 220 f. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis, 2021.

Shaffer, Kay. (1977). O Berimbau-de-barriga e seus toques. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Folclore—Funarte.

SILVA, A. P. B. da; VIANA, D. N. M. O ensino de física e a cultura afro-brasileira: possibilidades a partir da capoeira. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 31, n. 2, p. 439-463, abr./jun. 2014.

SOARES, Carlos Eugênio Libano. A capoeira escrava no Rio de Janeiro: 1808-1850. Campinas, SP: [s.n.], 1998. Tese (Doutorado em História) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

SOUZA, Maristela de Carvalho. As Histórias Cantadas: novas perspectivas da Capoeira no sistema de ensino-aprendizagem. 2023. 98 f. Dissertação (Mestrado em História da África, da Diáspora e dos Povos Indígenas) – Centro de Artes, Humanidades e Letras, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cachoeira, BA, 2023

TELLES, Edward E. Racism in a Racial Democracy: The Maintenance of White Supremacy in Brazil. Princeton: Princeton University Press, 2004.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura. Capoeira Circle. Nova Iorque: UNESCO, 2014. Disponível em: <https://ich.unesco.org/en/RL/capoeira-circle-00892>.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. Física III: Ondas e Termodinâmica. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

APÊNDICE A – PLANO DE ENSINO

<p>UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA</p> <p><small>Autorização Decreto nº 9237/86, DOU 18/07/96. Reconhecimento: Portaria 909/95, DOU 01/08-95</small></p>	<h1>PLANO DE ENSINO</h1>	
<p>Área do Conhecimento: Ciências da Natureza</p>	<p>Ano Letivo:</p>	
<p>Componente Curricular: Física</p>	<p>Turma:</p>	
<p>Professor: Jean V. Freitas da Silva</p>		

COMPETÊNCIAS E HABILIDADES

Competência Geral 1: Compreender e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, colaborar com a sociedade e prosseguir seus estudos.

Competência Geral 2: Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.

Competência Específica de Ciências da Natureza 1: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida individuais e coletivas.

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 3 Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e língua gens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Habilidade (EM13CNT101): Analisar e representar, com ou sem o uso de tecnologias digitais, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos.

Habilidade (EM13CNT201): Analisar e interpretar, com ou sem o uso de tecnologias digitais, informações e dados de fenômenos naturais e processos tecnológicos, para elaborar argumentos e tomar decisões informadas e conscientes sobre questões científicas e tecnológicas do mundo contemporâneo.

Habilidade (EM13CNT202): Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos sistemas naturais e propor e implementar ações individuais e coletivas que promovam a sustentabilidade.

(EM13CNT307) Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano.

AULA	OBJETO DO CONHECIMENTO	OBJETIVO(S) DE APRENDIZAGEM
01	Problematização Inicial: O Berimbau de Barriga	Mobilizar seus conhecimentos prévios, manifestar curiosidade epistemológica e formular hipóteses a partir da interação com o berimbau e a cultura da capoeira.
02	Organização do Conhecimento: Desvendando os Mistérios do Som.	Explorar os conceitos científicos de ondas e som, conectando-os às observações iniciais do berimbau, e construir uma compreensão formal sobre a propagação sonora e as características das ondas.
03	Organização do Conhecimento: A Física do Som: Intensidade, Interferência e Ondas Estacionárias	Explorar fenômenos acústicos complexos, como intensidade, interferência e ondas estacionárias, essenciais para compreender a riqueza sonora do berimbau.
04	Aplicação do Conhecimento: Transição e Preparação para a Aplicação	Consolidar os conceitos aprendidos e preparar os alunos para mobilizá-los em novas situações, reforçando a compreensão da física do berimbau.
05	Aplicação do Conhecimento: Altura, Timbre e a Ressonância do Berimbau e Outros Instrumentos	Aplicar os conhecimentos adquiridos para aprofundar a compreensão sobre altura, timbre e ressonância, utilizando o berimbau e outros instrumentos como exemplos.

ESTRATÉGIAS DE ENSINO

Aulas Expositivas Dialogadas e Participativas;
 Experimentação e Demonstrações Práticas;
 Conexão Ciência-Cultura;
 Resolução de Problemas e Formulação de Hipóteses;
 Uso de Recursos Tecnológicos;
 Trabalho em Grupo e Compartilhamento.

RECURSOS

Quadro branco/lousa e marcadores;
 Projetor/televisor, caixa de som e notebook\smartphone (se permitido);
 Vídeo de roda de capoeira com foco no berimbau;
 Berimbau de barriga (variados tamanhos de cabaça, se possível, ou um para demonstração e observação);
 Papel e canetas para registro das observações e perguntas;
 Materiais para experimentos simples de ondas (cordas, molas, bacias com água);
 Simuladores online (The Physics Classroom, PhET - opcional);
 Textos de apoio e materiais didáticos sobre ondulatória e acústica;
 Vídeos e áudios que ilustrem os conceitos (ex: ressonância em tubos, harmônicos de instrumentos);
 Outros instrumentos musicais (violão, flauta etc.) para comparação (se possível);
 Afinador eletrônico ou aplicativo de afinador;

Artigos, vídeos ou notícias que abordem a aplicação da acústica em diferentes contextos (engenharia de som, medicina etc. - opcional).

AVALIAÇÃO

Observação Participativa;

Registros Escritos;

Produção de Materiais;

Discussões e Debates;

Questionários Conceituais (Opcional).

REFERÊNCIAS

BNCC – Ciências da Natureza e suas Tecnologias (Ensino Médio)
BONJORNIO, José Roberto; RAMOS, Clinton Marcico; PRADO, Eduardo de Pinho; BONJORNIO, Valter; BONJORNIO, Mariza Azzolini; CASEMIRO, Renato; BONJORNIO, Regina de Fátima Souza Azenha. Física 2: termologia, óptica, ondulatória. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016.