



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
(POLO 58 - UFRPE)

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O
ESTUDO FÍSICO E MUSICAL DA VIBRAÇÃO DE BARRAS HOMOGÊNEAS
POR MEIO DA ANÁLISE EXPERIMENTAL DA KALIMBA

Vinícius de Oliveira Moraes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), polo 58-UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Recife,
Julho de 2022.

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ESTUDO
FÍSICO E MUSICAL DA VIBRAÇÃO DE BARRAS HOMOGÊNEAS POR MEIO DA
ANÁLISE EXPERIMENTAL DA KALIMBA

Vinícius de Oliveira Moraes

Orientador:
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pólo 58-UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior UFRPE
Presidente

Dr. Antônio José da Cruz Filho, UNICAP
Examinador Externo à Instituição

Dr. Carlos André de Carvalho Bosco, UFRPE
Examinador Interno

Recife
Julho 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M828u Moraes, Vinicius de Oliveira
UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ESTUDO FÍSICO E MUSICAL DA
VIBRAÇÃO DE BARRAS HOMOGÊNEAS POR MEIO DA ANÁLISE EXPERIMENTAL DA KALIMBA / Vinicius de
Oliveira Moraes. - 2022.
77 f. : il.
- Orientador: Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Junior.
Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Ensino
de Física (PROFIS), Recife, 2022.
1. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. 2. Kalimba. 3. Física e Música. I. Junior, Prof. Dr. Francisco
Nairon Monteiro, orient. II. Título

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, dedico também à minha mãe ,meu pai ,minha esposa e meus três filhos Maria Luisa, Leticia e Davi Luiz.

Agradecimentos

Primeiramente, agradecer a Deus por me dar força suficiente para cumprir minha jornada neste mestrado; à minha esposa e meus filhos, pela compreensão nos momentos de ausência por conta do tempo empregado aos estudos; aos meus pais por torcerem e incentivarem meus estudos.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e à Sociedade Brasileira de Física (SBF), pela oferta, em conjunto, do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, possibilitando a capacitação em nível de mestrado, em pleno exercício da profissão, de professores atuantes no ensino da física na educação básica.

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

Ao Professor Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior, pela paciência imprimida na orientação, aplicação e conclusão da dissertação.

Agradeço também a todos os professores que me deram a oportunidade de conhecer os prazeres da descoberta intelectual.

RESUMO

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ESTUDO FÍSICO E MUSICAL DA VIBRAÇÃO DE BARRAS HOMOGÊNEAS POR MEIO DA ANÁLISE EXPERIMENTAL DA KALIMBA

Vinícius de Oliveira Moraes

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), polo 58-UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A presente dissertação materializa um percurso de ensino e pesquisa, baseado na aprendizagem significativa e nas unidades de ensino potencialmente significativas, o qual consistiu no desenvolvimento e aplicação de um produto educacional que se utilizou de um pequeno instrumento musical, a kalimba, da família dos lamelofones, voltado ao estudo físico e musical da vibração de barras homogêneas, fixas em uma de suas extremidades. Neste percurso, os alunos puderam manipular o instrumento, refletir sobre a função das lâminas, caixa de ressonância, cavaletes, suporte e orifícios, centrando a atenção no modelo físico-matemático que relaciona a frequência fundamental de vibração de cada lâmina ao seu comprimento útil. Na sequência, refletiram sobre a relação entre a frequência e as notas musicais, a partir do entendimento da escala de 12 semitons igualmente temperados. A análise da aplicação do produto, bem como dos dados coletados, apontou para a importância do protagonismo na aprendizagem significativa, bem como para a construção de um importante subsunçor para a continuidade dos estudos em acústica, qual seja o de que a frequência de vibração de um corpo é função de suas dimensões.

Palavras-chave: Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, Kalimba, Física e Música.

Recife
julho de 2022

ABSTRACT

POTENTIALLY SIGNIFICANT TEACHING UNIT FOR THE PHYSICAL AND MUSICAL STUDY OF HOMOGENEOUS BARS VIBRATION THROUGH KALIMBA'S EXPERIMENTAL ANALYSIS

Vinicius de Oliveira Moraes

Supervisor:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Abstract of Master's Dissertation presented to the Professional Graduate Program in Physics Teaching at the Federal Rural University of Pernambuco, in the Professional Master's Course in Physics Teaching (MNPEF), Campus 58-UFRPE, as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Physics Teaching.

The present dissertation materializes a teaching and research path, based on meaningful learning and on potentially significant teaching units, which consisted in the development and application of an educational product that used a small musical instrument, the kalimba, from the lamellophone family, which turned to the physical and musical study of the vibration of homogeneous bars, fixed at one of their ends. In this course, students were able to manipulate the instrument, reflect on the function of the blades, resonance box, easels, support and holes, focusing attention on the physical-mathematical model that relates the fundamental frequency of vibration of each blade to its useful length. Next, they reflected on the relationship between frequency and musical notes, based on the understanding of the 12 semitone scale equally tempered. The analysis of the application of the product, as well as the data collected, pointed to the importance of protagonism in meaningful learning, as well as to the construction of an important subsumer for the continuity of studies in acoustics, which is that the vibration frequency of a body is a function of its dimensions.

Keywords: Potentially Significant Teaching Units, Kalimba, Physics and Music.

Recife
July 2022

Sumário

Capítulo 1 - Introdução e inserção na tradição de pesquisa.....	9
Capítulo 2 - Aprendizagem significativa enquanto referencial educacional	17
Capítulo 3 - As unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS) enquanto referencial metodológico	20
Capítulo 4 - Estudo físico da vibração em uma barra e a kalimba	24
Capítulo 5 - Aplicação do produto educacional	29
Capítulo 6 - Análise dos resultados e discussão	37
Capítulo 7 - Considerações finais e possibilidades de continuidade	44
Referências bibliográficas	50
Apêndice A - Produto educacional	52
Apêndice B - Respostas do questionário e das atividades experimentais 1 e 2.....	74

Capítulo 1 - Introdução e inserção na tradição de pesquisa

Nosso produto educacional começou a tomar forma após o ingresso no grupo do mestrado profissional em ensino de física e no Grupo de Estudos em Ciência e Cultura onde, por meio do orientador, um apaixonado em música, pesquisador e autor de vários trabalhos a respeito dessa interação música e física, me inspirou a observar a imensa dimensão e possíveis relações com a música que poderia desenvolver por meio de uma conexão entre a física e a música, observando e analisando padrões da natureza do som. Deste vasto universo de possibilidades de diálogo entre ciência e cultura, particularmente, no nosso caso, entre acústica física e acústica musical, alguns interessantes produtos educacionais já foram desenvolvidos no âmbito do polo 58 – UFRPE do MNPEF, sob as orientações e comunhão de saberes gestados no citado grupo de pesquisa (OLIVEIRA FILHO, 2022; CUNHA, 2019; MEDEIROS, 2019; MACIEL NETO, 2019; ARAÚJO FILHO, 2018).

Oliveira Filho (2022) desenvolveu um produto educacional composto de uma sequência didática, baseada no diálogo entre os três momentos pedagógicos de Demétrio Delizoicov e o ensino sob medida, voltada para o ensino teórico e experimental referente à velocidade do som e sua medição. A aplicação deste produto educacional evidenciou motivação por parte dos estudantes, bem como a valorização do protagonismo. Além disso, os resultados experimentais e os mapas conceituais por eles produzidos deram mostra de que houve aprendizagem.

Cunha (2019) elaborou um produto educacional composto de uma sequência didática potencialmente significativa para o estudo da equação representativa da onda estacionária numa corda fixa em ambas as extremidades, utilizando-se da teoria da aprendizagem significativa, buscando minimizar as dificuldades relacionadas ao processo de ensino-aprendizagem no tocante à compreensão de algumas propriedades das ondas estacionárias e suas relações com as notas musicais. A análise da aplicação do produto apontou que alguns alunos conseguiram atingir níveis de sofisticação da aprendizagem e aprimoramento das respostas, não verificados no início da atividade proposta, conseguindo compreender de forma adequada como são estabelecidas as relações matemáticas entre as grandezas presentes na equação da onda estacionária.

Medeiros (2019) apresenta uma sequência didática desenvolvida para compreensão do conceito de ressonância tomando como base epistemológica a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. O professor mediador determina o nível de investigação por meio de roteiros de atividades e intervenções durante as quais os alunos discutem e compartilham os resultados. Os resultados aparecem ao final de cada momento de ensino, ancorando conceitos anteriores, estabelecendo novos e tornando-os consistentes. Os mapas conceituais no trabalho dão diretrizes para os objetivos da intervenção, divididos em três momentos pedagógicos. Cada momento é aplicado com base em etapas diferentes de aprendizagem significativa.

Maciel Neto (2019) buscou inovar o ensino da acústica por meio dos tubos sonoros, os quais consistem de uma reconstrução do tubo de Kundt. Nesta seara, construiu uma sequência de ensino investigativa e motivadora, por meio de organizadores prévios e experimentos. Tal sequência buscou construir um entendimento das relações entre física e música no contexto da flauta de tubos (panflute, zamponia, siku), onde os alunos participaram ativamente na construção de seus conhecimentos.

Araújo Filho (2018), partindo das inquietações advindas da prática docente do ensino médio e dialogando com a aprendizagem significativa e o ensino por investigação, desenvolveu e aplicou uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) para o estudo de físico e musical de cordas homogêneas, fixas em ambas as extremidades. Utilizando-se de um violão, de uma reconstrução histórica do Oscilador de Melde, bem como do uso de um aplicativo gerador de áudio, permitiu a investigação dos modos vibracionais da corda, da série de Fourier e sua relação com a série harmônica, componente fundamental no entendimento do conceito de timbre. Tal experiência de pesquisa e ensino apontou para a viabilidade do produto na promoção da aprendizagem significativa no contexto de cordas vibrantes, a importância dos organizadores prévios como motivadores para a construção de novos conhecimentos, assim como a importância da fase de problematização como geradora de inquietações nos alunos.

E fora do contexto do grupo de estudos em educação sonora da UFRPE? Quando voltamos nosso olhar para fora do que tem sido desenvolvido na UFRPE, concernente às relações entre ciência e cultura do som e da música, o que tem sido feito? Como os livros didáticos de física para a educação básica tratam o tema em epígrafe? Que experiências educacionais têm sido publicadas em periódicos qualificados pela CAPES?

As análises apresentadas adiante apontam que já há uma larga quantidade de publicações sobre o tema. Contudo, quase não há trabalhos sobre o uso da kalimba

como instrumento da análise física e musical da vibração de uma barra homogênea, presa em uma de suas extremidades ainda é bastante incipiente na pesquisa e ensino de física. Na revisão bibliográfica em que analisamos os principais periódicos e encontros de ensino de física do Brasil (Experiências em Ensino de Ciências, Investigações em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Ensino de Física, Revista do Professor de Física, A Física na Escola, Aprendizagem Significativa em Revista, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências, Simpósio Nacional de Ensino de Física, Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Congresso Nacional de Educação, Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências), não encontramos nenhum trabalho versando sobre esse tema, o que aponta para a originalidade da pesquisa que realizamos, consistindo, assim, numa nova contribuição para a apropriação da relação entre física e música, voltada para o desenvolvimento de produtos educacionais.

Durante a citada revisão bibliográfica, nos deparamos com um interessante artigo (SOUZA, 2011), publicado na revista “Música Hodie”, voltada à performance musical e suas interfaces, composição e novas tecnologias, educação musical, música e interdisciplinaridade, musicoterapia, linguagem sonora e intersemiose, musicologia. Neste artigo, o autor projeta, em Csound, uma emulação simples de kalimba para ser usada no livro “O Livro dos Sons” para orquestra e sons eletrônicos, servindo também como primeiro estágio de uma modelagem física completa do instrumento. O modelo proposto combina princípios básicos de modelagem de instrumento e de seu espectro, através de síntese aditiva. O projeto partiu da análise espectral de uma amostra que forneceu funções de mapeamento entre a fonte de excitação e o ressonador, valorizando a prevalência de parciais inarmônicos, variações no tempo da amplitude dos parciais e de componentes de ruído, considerados teórica e experimentalmente. Muito embora tal trabalho seja muito importante, distancia-se de uma perspectiva de utilização de tal instrumento musical que busque possibilitar a aprendizagem significativa de conceitos básicos do estudo de acústica, que é, em última instância, o olhar do nosso produto educacional.

Diante da realidade acima delineada, é importante ressaltar que há interessantes resultados de pesquisa sobre a relação entre ciência e música, materializadas em propostas pedagógicas de produtos educacionais e alguns artigos, que figuram como alternativas bem melhores do que aquelas apresentadas pelos principais livros didáticos de física para a escola básica, uma vez que, raramente, esses se utilizem de instrumentos musicais numa perspectiva que busque investigar os conceitos de acústica ali presentes. Quando muito, utilizam-nos a partir de uma perspectiva ilustrativa, ao invés de abrir possibilidades de

investigação científica, em que se valoriza os aspectos experimentais, a história do desenvolvimento daqueles instrumentos e de como essa história esteve ligada ao desenvolvimento da acústica física. Num artigo pioneiro, o primeiro publicado no Brasil e o único anterior aos anos 2000, Monteiro Júnior e Medeiros (1998) constroem um estado da arte bastante significativo de como os mais influentes livros didáticos de física para o ensino médio tratam o ensino de acústica, revelando diversos deslizes de natureza conceitual e histórica. Segundo os autores, o percurso de pesquisa apontou uma forte ênfase no aspecto abstrato, com pouca contextualização dos conteúdos, utilizando-se do enorme universo das experiências musicais, que todos possuem, em maior ou menor quantidade. Por outro lado, tais conteúdos são apresentados de uma forma superficial e fundamentalmente física, sem valorizar a dimensão perceptiva da experiência sonora, a psicoacústica, bem como a historicidade da relação entre física e música, que poderia servir de base na construção de uma abordagem mais interdisciplinar. Os autores apontam ainda para a negligência quanto à precisão dos conceitos e por uma seqüência repetida por todos os textos, conduzindo a uma aparente lógica. Com respeito aos recursos ilustrativos, evidenciam o uso excessivo de ilustrações, as quais servem apenas para tornarem o texto mais atraente e colorido. Tais ilustrações muitas vezes aparecem fora do contexto do texto escrito e, algumas vezes, passando mensagens distorcidas do ponto de vista da teoria. Os autores encerram a análise, afirmando que as “sínteses” dos livros didáticos, frutos das transposições didáticas, não têm que resultar em “distorções”, tomando de empréstimo os significados destes termos na música.

Mais recentemente, Monteiro Júnior (2012) analisou apenas os seis livros didáticos de física para o ensino médio, recomendados pelo Plano Nacional do Livro de Ensino Médio – PNLEM. Tal análise apontou que pouca coisa mudou. Tais textos didáticos ainda pecam na contextualização do conteúdo, bem como nas relações entre ciência, tecnologia e cultura. Todos os seis resumem as aplicações às tecnologias cuja ciência da acústica se encontra na base, como o sonar e a ultrassonografia, esquecendo as questões sócio-científicas. No que se refere ao uso da história e filosofia da ciência, os textos o fazem de forma factual, ilustrativa, que serve apenas como excertos históricos „interessantes“ que pouco contribuem para o entendimento da natureza da construção do conhecimento científico e para o desenvolvimento de uma consciência crítica na relação entre ciência, tecnologia e cultura. Quanto à precisão conceitual, observamos que todos os livros analisados apresentam desvios conceituais, principalmente quando se lançam nas ligações entre acústica física e acústica musical, não havendo nenhuma preocupação com o desenvolvimento de habilidades na análise de paisagens sonoras,

inseridas em contextos sociais ou históricos, suas transformações, valorizando as relações entre ciência, tecnologia e cultura, onde as experiências musicais dos envolvidos são retomadas por meio das atividades organizadoras prévias.

E quanto às experiências educacionais envolvendo física e música, publicadas nos principais periódicos nacionais qualisados? Qual o retrato dos artigos, seus objetivos, metodologias?

Ainda na mesma pesquisa, Monteiro Júnior (2012) construiu um estado da arte a partir da análise dos nove principais periódicos de ensino de ciências e dos dois principais periódicos de educação matemática do Brasil. Até 2012 havia apenas 69 artigos publicados sobre o universo analisado. Contudo, não há uma distribuição equitativa dos conteúdos da acústica, havendo uma concentração em temas como velocidade de propagação das ondas mecânicas e do som, movimento harmônico simples, cordas vibrantes, em detrimento da análise da relação entre frequência e altura, intensidade física e intensidade fisiológica e conceito de timbre. Por outro lado, as abordagens quase sempre se limitam à análise dos aspectos físicos, em sintonia com as apresentações tradicionalmente veiculadas pelos livros didáticos, com pouca valorização das relações entre ciência, tecnologia e cultura, na qual as experiências sonoras das pessoas possam ser resgatadas.

Tal retrato corrobora com os resultados da análise feita por Jardim; Errobidart; Gobara (2008). No importante estado da arte que envolveu a análise do banco de teses e dissertações da USP, em seis periódicos nacionais e quatro internacionais, as autoras apontam que são poucos os trabalhos sobre ondas sonoras e o estudo de sua transposição didática. Muito embora tenha aumentado nos últimos anos, ainda é incipiente. Por outro lado, a maioria dos artigos propõe formas alternativas de tratar o tema, mas recorrentemente apresentam discussões teóricas, equações matemáticas, sem preocupação com a análise de tais propostas em situações de ensino e aprendizagem, consistindo, a nosso ver, em experiências didáticas que não valorizam o percurso da curiosidade para a curiosidade epistemológica. Por outro lado, as autoras apontam ainda que não foi possível, na maioria dos artigos, identificar os objetivos de pesquisa, a metodologia utilizada e os referenciais teóricos adotados. Para se ter uma ideia, de todos os artigos publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física, periódico de maior

ocorrência de artigos, nenhum estava enquadrado na seção denominada “Pesquisa em Ensino de Física”. Diante deste quadro, não agregaria muito valor discorrer sobre tais artigos em nossa dissertação.

É, portanto, neste esforço de pesquisa que ofertamos a presente contribuição para este maravilhoso e instigante mundo do estudo das vibrações de fontes de instrumentos musicais. Nesse universo de possibilidades discutidas no grupo de pesquisa, encontramos na kalimba um corpo sonoro que levou ao desenvolvimento de interessantes atividades no ensino da física do som – estamos nos referindo, especificamente, ao estudo de vibração de barras, no contexto do funcionamento de uma importante fonte sonora de instrumentos musicais da família dos lamelofones.

Nossa formação em música e em matemática nos permitiu enxergar os valores intrínsecos de atividades no ensino de física que valorizem a experiência cultural, a ciência e a educação sonora, muito embora o objetivo geral do grupo seja a formação de consciências auditivas, para que as pessoas passem de agentes causadores da insalubridade nos ambientes acústicos a agentes cuidadores, entendendo-se enquanto autores de uma grande sinfonia, paisagem sonora do mundo moderno. Essa grande e desorganizada sinfonia – aleatória, ruidosa – precisa ser entendida e transformada, para que possamos, ao longo das gerações, imprimir melhorias significativas na qualidade de tais paisagens. Embora não atue nessa ponta, nossa contribuição constitui-se num fundamental estudo, sem o qual ficaria o vazio do entendimento da vibração desse importante corpo sonoro, a barra homogênea. Nesse percurso, buscamos, por meio da análise física e experimental da kalimba, construir, a partir da aprendizagem significativa, dialogando com as unidades de ensino potencialmente significativas, uma sequência didática capaz de fazer com que os estudantes enxerguem, aprendam sobre vibrações em barra de forma lúdica, por meio de atividades experimentais envolvendo a utilização da kalimba, possibilitando que eles saiam do papel passivo, valorizando o protagonismo. Os jovens, em geral, vivenciam experiências sonoras e musicais que precisam ser valorizadas na sala de aula.

Aqui podemos sintetizar nossa inquietação no seguinte problema de pesquisa:

“Qual o avanço, em direção à aprendizagem significativa da relação entre a frequência de vibração de uma lâmina no seu modo fundamental e a nota musical correspondente, quando um grupo de alunos é convidado a vivenciar uma unidade de ensino potencialmente significativa para o estudo físico e musical da vibração de barras homogêneas por meio da análise experimental da kalimba, na qual são valorizadas suas

experiências prévias, o protagonismo no desenvolvimento das atividades experimentais, o fazer musical no contexto da descoberta e o debate em torno dos questionamentos?”

Nesse percurso, partimos da perspectiva freireana de que as unidades de ensino potencialmente significativas podem emprestar autonomia e a criticidade às aulas de física, valorizando as experiências prévias dos estudantes, elo de partida para a aprendizagem significativa, transformando a curiosidade ingênua em curiosidade epistemológica. Assim, apresentamos uma ação de ensino a partir dos objetivos a seguir descritos:

Geral:

Analisar a viabilidade, em direção à aprendizagem significativa, da relação entre a frequência de vibração de uma lâmina no seu modo fundamental e a nota musical correspondente, de uma unidade de ensino potencialmente significativa para o estudo físico e musical da vibração de barras homogêneas por meio da análise experimental da kalimba, na qual são valorizadas suas experiências prévias, o protagonismo no desenvolvimento das atividades experimentais, o fazer musical no contexto da descoberta e o debate em torno dos questionamentos

Específicos:

- i. Desenvolver o ensino de física com abordagem na ciência e na música, numa turma de 2º ano do ensino médio de forma lúdica, buscando proporcionar uma investigação sobre as particularidades, assim como a curiosidade que abrange o estudo de ondas sonoras na vibração de uma barra homogênea.
- ii. Valorizar o protagonismo dos estudantes, desde a identificação desse instigante instrumento musical, sua afinação, reconhecimento das notas musicais de cada uma das lâminas, a relação com suas frequências de vibração, com vistas à identificação do modelo físico representativo dos modos normais de vibração da lâmina.
- iii. Compreender a propagação do som e de suas nuances, por meio de uma análise científica pouco comum, pois ao falarmos de som e música, raramente associamos aos pensamentos físicos.
- iv. Propor um produto educacional que propicie a construção lúdica do conhecimento de acústica por meio de uma sequência didática significativa para análise física e musical da vibração de barras homogêneas no âmbito da análise experimental da kalimba.

Ao longo da dissertação, apresentamos o caminho trilhado na construção do produto, sua aplicação e a análise da experiência vivenciada. No capítulo dois, oferecemos uma síntese da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. No

capítulo três, sintetizamos a metodologia utilizada na aplicação do produto, qual seja, as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) de Marco Antônio Moreira, formando o arcabouço educacional que dá sustentação a nosso produto. No capítulo quatro, analisamos física e musicalmente a vibração de uma lâmina homogênea, valorizando o modelo matemático mais rebuscado, mas também as simplificações que tornam possível seu entendimento por parte dos estudantes da escola básica. No capítulo cinco, apresentamos a aplicação do produto educacional. Já no capítulo seis, expomos os resultados e as discussões acerca da viabilidade de nosso produto, valorizando relatos e considerações finais, bem como os principais pontos abordados durante o desenvolvimento e aplicação do produto educacional. Ao final da presente dissertação, mostramos, no apêndice A, nosso produto educacional, composto pelos modelos da Kalimba adquiridos e a UEPS para sua utilização em sala de aula.

Capítulo 2 – Aprendizagem significativa enquanto referencial educacional

Com a ideia de uma educação inovadora e significativa, faz-se necessário uma reflexão sobre como o processo de ensino e de aprendizagem pode se utilizar de estratégias e metodologias que possibilitem o ensino a partir das modificações estabelecidas pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) de 1996, regulamentada em 1998 pelas Diretrizes do Conselho Nacional de Educação e pelos Parâmetros Curriculares Nacionais no ensino de Física. Colocando-se dessa forma, resolvemos adotar como referencial teórico para esse trabalho a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (MOREIRA, 2011a; MOREIRA, 2006), referenciada nos trabalhos do Novak e das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (MOREIRA, 2016), por acreditarmos ser uma teoria que, a partir dos conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva do aluno, pode tornar-se uma alternativa para elaboração de uma sequência de ensino que possa gerar um diálogo entre o conteúdo e as questões sociais e culturais dos mesmos.

Segundo a teoria de David Ausubel, o processo de aprendizagem acontece quando envolve a interação da nova informação abordada com a estrutura cognitiva do aluno. Assim, devemos sempre considerar os conhecimentos prévios como ponto de partida para um novo conhecimento. Dessa forma, é necessário que o aluno encontre significado no que está aprendendo, para que significativamente possa aprender. Essa metodologia de ensino deve ser feita por meio de uma sequência didática, através de uma linha cognitivista, onde o foco está nos processos mentais como percepção, resolução de problemas, tomadas de decisões, informações processadas e compreensão a partir de uma avaliação do que os alunos previamente sabem.

O conhecimento prévio serve de matriz ideacional e organizacional para a incorporação, compreensão e fixação de novos conhecimentos quando estes “se ancoram” em conhecimentos especificamente relevantes (subsúcores) preexistentes na estrutura cognitiva. Novas idéias, conceitos, proposições, podem ser aprendidos significativamente (e retidos) na medida em que outras idéias, conceitos, proposições, especificamente relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do sujeito e funcionem como pontos de “ancoragem” aos primeiros. (MOREIRA, 2011b, p. 26)

A teoria cognitiva de Ausubel incentiva o uso de organizadores prévios que servem como instrumentos para uma nova abordagem. Elementos introdutórios devem ser apresentados antes de ser aprendido. Ausubel é um defensor do construtivismo, corrente teórica segundo a qual o aluno é o principal agente construtor de sua aprendizagem. Surgem conflitos cognitivos quando ocorrem questionamentos de esquemas prévios e conceitos novos. Não somente a nova informação, mas também o antigo conceito acaba sofrendo modificações pela interação entre ambos. O ponto central da teoria é o termo *subsunçor*, que pode ser entendido como o ponto cognitivo do aluno que dará sentido a um novo conhecimento. Essa associação dos conhecimentos prévios com os novos conhecimentos resulta na aprendizagem significativa. E, nesse processo, a nova informação interage com a de conhecimento específico, o qual pode ser ilustrado a seguir:

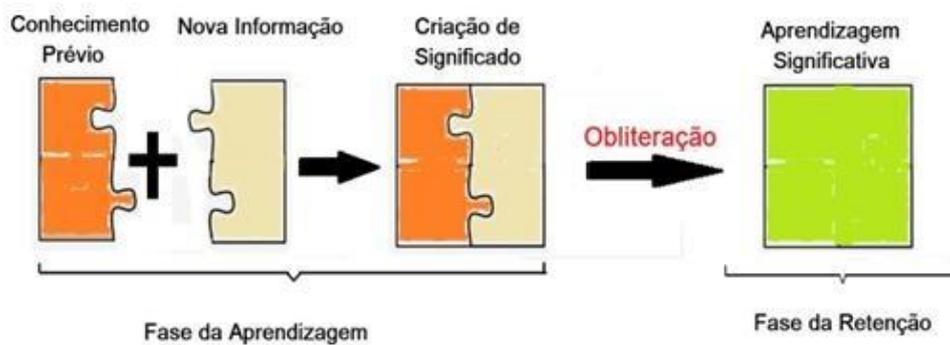


Figura 1. Aprendizagem significativa e obliteração (imagem nossa).

A ideia de conceito subsunçor já existe na estrutura cognitiva dos alunos, atuando como base para obtenção de novos conhecimentos, fundamentados em conceitos importantes que existiam na estrutura cognitiva do indivíduo. Este processo é denominado diferenciação progressiva.

A diferenciação progressiva, desse modo, refere-se ao processo de conferir um novo significado a um dado subsunçor, resultante da utilização sucessiva desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos. A aprendizagem significativa vem de interação não arbitrária do novo conhecimento com o conhecimento prévio, de forma não literal, especialmente relevante. Por meio da interação contínua, um determinado subsunçor irá, aos poucos, adquirir um novo significado, tornando-se mais rico, mais refinado, mais diferenciado, com o objetivo de preparar-se melhor para novos aprendizados.

Ostermann e Cavalcante (2011, p. 35) descrevem um método de ensino de física fundamentado na teoria de Ausubel, que requer, pelo menos, as quatro tarefas básicas a seguir descritas:

- ◆ Determinar a estrutura conceitual e proposicional de matéria de ensino, organizando os conceitos e princípios hierarquicamente.
- ◆ Identificar quais os subsunçores que os alunos deveriam ter em sua estrutura cognitiva, para uma aprendizagem significativa sobre determinado conteúdo a ser ensinado.
- ◆ Determinar, entre os subsunçores relevantes, os que estão disponíveis na estrutura cognitiva do aluno.
- ◆ Ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a assimilação da matéria por parte do aluno e a organização de sua própria estrutura cognitiva nessa área de conhecimentos, através da aquisição de significados claros, estáveis e transferíveis.

Para tal execução, utilizaremos um instrumento que consiste em um conjunto de lâminas (também chamadas de teclas) fixado no tampo superior de uma caixa de ressonância, possuindo um ou mais orifícios, cuja função é a de otimizar a propagação do som produzido pela vibração das lâminas e amplificado pela caixa de ressonância. Os lamelofones são geralmente construídos sobre uma base de madeira. Em alguns casos, essa base de madeira pode ser a própria caixa de ressonância do instrumento. Há diversos tipos de lamelofones, desde os construídos em cima de tábuas até aqueles mais sofisticados, com os quais é possível executar melodia quando devidamente afinados. Para aumentar o volume/intensidade do som, o lamelofone é acoplado dentro ou sobre um corpo ressonador. Esse corpo ressonador tem a mesma função da caixa de um violão ou violino ou ainda de um piano, qual seja, a de amplificar o som. Por meio dos dois cavaletes, a vibração das lâminas, produzidas pelo dedo do executante, se propaga para a caixa, onde ganha intensidade, permitindo que uma melodia possa ser escutada por outras pessoas, assim como ocorre com instrumentos musicais como os acima citados.

Sendo assim, para tais “nortes” apontamos para a viabilidade dos 8 passos das UEPS como uma alternativa que carrega condições necessárias para a facilitação da aprendizagem significativa. No próximo capítulo, apresentamos tal recurso metodológico, o qual serviu de base para a construção das atividades que compõem nosso produto educacional.

Capítulo 3 - As unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS) enquanto referencial metodológico

Nossa pesquisa se insere na perspectiva qualitativa do tipo etnográfico, mais especificamente “empírica experimental qualitativa”. Segundo Rosa (2013, p. 40):

“A pesquisa empírica experimental qualitativa é caracterizada como uma intervenção na realidade cuja avaliação faz uso de instrumentos de coleta que fazem a recolha dos registros do tipo que se presta mais a uma análise de natureza qualitativa. Tipicamente, este tipo de pesquisa utilizará a Entrevista, o Questionário, a Filmagem, o Opiniário e mesmo testes com questões abertas para coletar os registros. A técnica de análise que é mais utilizada é Análise de Conteúdo Categorical”.

Por meio do delineamento acima descrito, encaixamos-nos nessa modalidade de pesquisa, na medida em que nos inserimos enquanto professor e pesquisador na aplicação do produto, utilizando, para tanto, as UEPS. Ainda alinhados com a modalidade de pesquisa acima descrita, utilizamos como instrumento de coleta de dados o questionário inicial, bem como os questionários e resultados das atividades experimentais. Na análise, criamos três categorias, quais sejam:

CATEGORIA 1: viabilidade do debate entre os componentes de cada grupo, criados com vistas à integração, trocas de novos saberes, ideias e pensamentos em torno das respostas ao questionário, aplicados inicialmente no entendimento de que as frequências de vibração de um corpo sonoro dependem de suas dimensões.

CATEGORIA 2: viabilidade de atividades experimentais, sendo a 1ª atividade a construção ou o reforço da subsunção necessária ao entendimento da física da vibração de uma lâmina, reforçando a ideia de que a frequência de vibração é função do comprimento da lâmina e que possui, num sentido lato, a compreensão de que as frequências de vibração de um corpo sonoro dependem de suas dimensões.

CATEGORIA 3: viabilidade de atividades experimentais, sendo a 2ª atividade de reconciliação integrativa ou integradora dos conhecimentos e experiências que foram postos em cena nas duas atividades anteriores, buscando elementos que possam apontar fatores positivos ou negativos do produto educacional por nós desenvolvido.

O produto educacional foi moldado para ser aplicado em turmas de ensino médio que já tenham tido contato com o estudo das ondas mecânicas, bem como com os conceitos básicos do estudo das ondas sonoras. Na Construção da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, faz-se necessário seguir alguns passos para a elaboração e obtenção de bons resultados. Dessa forma, durante o desenvolvimento das UEPS, os organizadores prévios que são informações ou recursos introdutórios que devem ser apresentados como ponte entre o que o aluno já sabe e o que ele deve saber, para que o conteúdo possa ser realmente aprendido de forma significativa. Sendo assim, irá possibilitar as relações, instigando os conhecimentos já existentes, possibilitando a compreensão de novos saberes. As situações-problema darão sentido aos novos conhecimentos, podendo ser utilizadas como organizadores prévios. Para que isso ocorra, faz-se necessário que as situações-problema tenham um grau crescente de complexidade, de modo que, para resolver uma situação, seja necessário a construção de um modelo mental funcional, a unidade de ensino potencialmente significativa.

Dada a brevidade de tempo que dispomos para o estudo da física na escola básica e que são muitos os conteúdos a serem ensinados, os produtos educacionais precisam se adequar à realidade da escola pública brasileira. Portanto, se tais produtos planejarem seus passos em muitas aulas, dificilmente serão utilizados por algum professor, pois, inevitavelmente, criaria um complicador no planejamento da instituição. Pensando nisso, propomos nossa sequência didática para ser aplicada em três aulas.

Na aplicação do presente produto, tal sequência didática deve ser planejada e construída tomando por base a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, enquanto referencial teórico, e as unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS), como referencial metodológico. Além de tais organizadores prévios, deve-se levar em consideração a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação, buscando na avaliação uma aprendizagem significativa e progressiva (Moreira, 2016). As situações-problema que serão propostas pelo professor mediador dos significados dos alunos irão permitir essa interação social com a linguagem apropriada, proporcionando, assim, a construção de significados. Essa relação professor-aluno e materiais educativos potencialmente significativos são de suma importância para a aprendizagem dos alunos (Moreira, 2009), assim como estímulo aos questionamentos. De

modo que a proposta de UEPS está bem amparada em termos teóricos e educacionais, entre outros elementos que se fazem necessários ao planejamento, execução e análise de resultados. Segundo Moreira, deve conter oito passos:

- ◆ Definir o tema a ser trabalhado na UEPS, identificando aspectos procedimentais, tais como os aceitos no contexto da disciplina;
- ◆ Aplicação de um questionário inicial, buscando identificar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca do tema.
- ◆ Criar e/ou propor situações que possam oportunizar, a partir da identificação dos conhecimentos prévios relevantes da estrutura cognitiva dos alunos, o passo inicial para obtenção de uma aprendizagem significativa;
- ◆ Uma exposição dialogada do tema que compõe a unidade de ensino da acústica, de forma a apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em consideração a diferenciação progressiva;
- ◆ Retomar aspectos mais gerais sobre o tema em conjunto com a turma para sintetizar os conceitos e equações aprendidos, culminando no que seria um construto de conhecimentos sobre todos os tópicos abordados, propondo o conhecimento de um maior nível de complexidade, colocando novos exemplos e destacando semelhanças e diferenças em relação à primeira apresentação;
- ◆ Concluir a unidade retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, buscando a reconciliação integrativa;
- ◆ Realizar a avaliação da aprendizagem a partir da UEPS;
- ◆ O desempenho dos alunos deverá fornecer evidências de que a aprendizagem significativa é progressiva, não só no campo conceitual, dando ênfase às evidências, e não apenas aos comportamentos finais.

As ideias de Ausubel influenciaram muito os educadores responsáveis pelo ensino de física, principalmente por mostrarem que os alunos desenvolvem espontaneamente ideias sobre o mundo físico e, com base em conhecimentos prévios, o ensino deve estar relacionado ao nível de desenvolvimento da saúde mental adaptada à criança.

Alinhados com esta tradição, construímos um produto educacional que consiste de uma Unidade de ensino potencialmente significativa voltada para a análise física e musical da Kalimba, por meio da qual buscamos possibilitar que os alunos aprendam a física da vibração de uma barra homogênea de forma lúdica, participativa e comprometida com a perspectiva interdisciplinar, valorizando o diálogo entre ciência e cultura, no âmbito da física e da música.

Uma vez delineados dos traços de nossa modalidade de pesquisa e, também, os elementos constitutivos do pensar epistêmico, apresentamos no capítulo seguinte o tratamento físico matemático concernente à vibração de uma lâmina homogênea presa em uma de suas extremidades, bem como as simplificações necessárias ao entendimento por parte de um aluno do ensino médio.

Capítulo 4 - Estudo físico da vibração em uma barra e a kalimba

O estudo do funcionamento físico de lâminas vibratórias é de grande interesse no estudo da acústica, visto que muitos dispositivos empregam vibração longitudinal. Ao tratarmos especificamente da kalimba faz-se necessário a análise de barra ou haste vibratórias. A Kalimba consiste em um conjunto de lâminas (também chamadas teclas) fixado no tampo superior de uma caixa de ressonância com um ou mais orifícios, cuja função é a de otimizar a propagação do som produzido pela vibração das lâminas e amplificado pela caixa de ressonância. Por meio dos dois cavaletes, a vibração das lâminas, produzidas pelo dedo do executante, se propaga para a caixa, onde ganha intensidade. Essa vibração que, no caso, trata-se da frequência em função do comprimento pode ser descrita a partir da equação de Euler-Bernoulli, que descreve vibrações transversais em lâminas longas e finas, perfeitamente elásticas (Fletcher,1991)

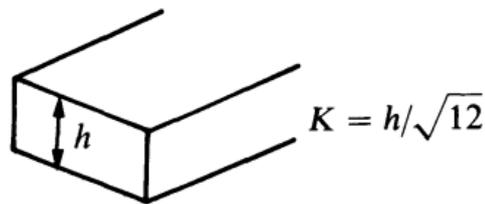


Figura 2 . Raios de giração (Fletcher,1991)

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = - \frac{EK^2}{\rho} \frac{\partial^4 y}{\partial x^4}$$

A constante K chamada raio de giração da para algumas formas simples é definido por $h/\sqrt{12}$, sendo h a espessura da lâmina

Sendo a equação geral para ondas de flexão em barra elásticas (Fletcher,1991) :

$$y = \cos(\omega t + \phi) \cdot [A \cosh(kx) + B \sinh k(kx) + C \cos(kx) + D \sin(kx)]$$

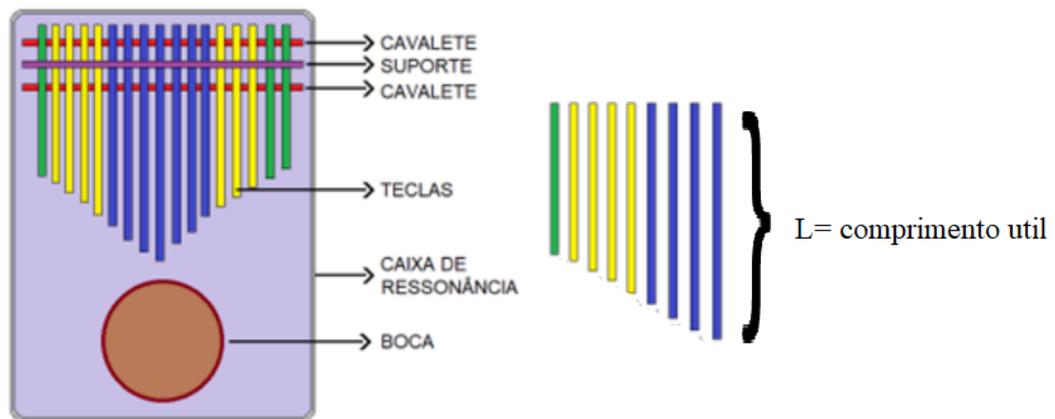


Figura 3 . Comprimento Util da kalimba

Considerando uma condição exclusiva da kalimba para uma barra, com suporte preso e a outra extremidade livre, a segunda derivada é igual a zero, como mostra a Fig.4.. Em uma extremidade presa, y e sua primeira derivada são zero.

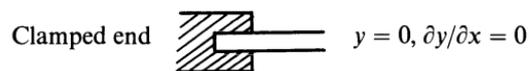


Figura 4. Em uma extremidade presa, y e sua primeira derivada (Fletcher,1991)

A solução geral é da forma

$$y = \cos(\omega t + \phi) \cdot [A \cosh(kx) + B \sinh k(kx) + C \cos(kx) + D \sin(kx)]$$

Temos duas condições de contorno

- (i) Em $x = 0$ temos $y = 0$, ou seja $y(x = 0) = 0$
- (ii) Em $x = 0$ também temos $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$, ou seja $\frac{\partial y}{\partial x}(x = 0) = 0$

$$y = \cos(\omega t + \phi) \cdot [A \cosh(kx) + B \sinh k(kx) + C \cos(kx) + D \sin(kx)]$$

- Aplicando a condição de contorno (i)

$$(i) \text{ Se } x = 0 \rightarrow y(0) = \cos(\omega t + \phi) \cdot [A \overset{1}{\cancel{\cosh(0)}} + B \overset{0}{\cancel{\sinh(0)}} + C \overset{1}{\cancel{\cos(0)}} + D \overset{0}{\cancel{\sin(0)}}] = 0$$

$$y(x = 0) = y(0) = \cos(\omega t + \phi)[A + C] = 0 \leftrightarrow A + C = 0$$

- Aplicando a condição de contorno (ii)

(ii) Se $x = 0$ temos $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$ ou seja $\frac{\partial y}{\partial x}(x = 0) = 0$

Vamos achar $\frac{\partial y}{\partial x}$

Seja $\frac{d}{dx}$ o operador derivado de uma função qualquer com relação a variável x

$$\text{Assim temos } \frac{d}{dx}(\cosh x) = \frac{d}{dx}\left(\frac{e^x + e^{-x}}{2}\right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{dx}(e^x + e^{-x})$$

$$\frac{d}{dx}(\cosh x) = \frac{1}{2} \left[\frac{d}{dx}(e^x) + \frac{d}{dx}(e^{-x}) \right] = \frac{1}{2} [e^x + (-1)e^{-x}]$$

Usando regra da cadeia

$$\frac{d}{dx}(\cosh x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2} = \sinh x \quad \frac{d}{dx}(\cosh x) = \sinh x$$

$$\frac{d}{dx}(\cosh x) = \sinh x$$

Assim temos para

$$\frac{d}{dx}(\sinh x) = \cosh x$$

$$\frac{d}{dx}(\cos x) = -\sin x$$

$$\frac{d}{dx}(\sin x) = \cos x$$

Se $y = \cos(\omega t + \phi) \cdot [A \cosh(kx) + B \sinh k(kx) + C \cos(kx) + D \sin(kx)]$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \cos(\omega t + \phi) \cdot \underbrace{[A \sinh(kx)k + B \cosh k(kx)k + C(-\sin(kx))k + D \cos(kx)k]}_{\text{Esse } k \text{ vem da regra da Cadeia}}$$

Pela condição de contorno, temos se $x = 0 \rightarrow \frac{\partial y}{\partial x} = 0$, substituindo $x = 0$ temos

$$\frac{\partial y}{\partial x}(x = 0) = \cos(\omega t + \phi) \cdot [A \overset{0}{\cancel{\sinh(0)k}} + B \overset{K}{\cancel{\cosh k(0)k}} + C \overset{0}{\cancel{(-\sin(0))k}} + D \overset{K}{\cancel{\cos(0)k}}$$

$$\frac{\partial y}{\partial x}(x = 0) = 0 \Leftrightarrow K(B + D) = 0 \quad (h \neq 0) \Leftrightarrow B + D = 0$$

Diante do que foi demonstrado acima, quando estamos nos referindo à kalimba, na qual a vibração de uma barra fixa em $x = 0$ e livre em $x = L$, as condições de contorno implicam:

$$A + B = C + D = 0$$

Sabemos que quando uma lâmina, presa em uma das extremidades, é posta para vibrar, ela vibra em frequências que dependem, fundamentalmente, da sua elasticidade e comprimento. A figura 5, retirada do livro “The Physics of Musical Instruments”, de Neville H. Fletcher e Thomas D. Rossing (1993), ilustra os quatro primeiros modos de vibração da barra.

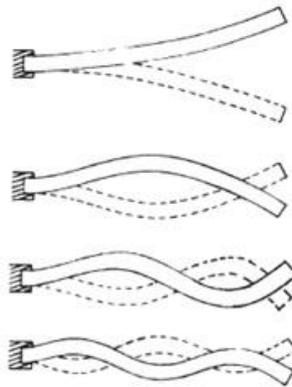


Figura 5 . Quatro primeiros modos de vibração de uma barra fixa numa das extremidades.

Através da equação transcendental derivada de quarta ordem que produz razão entre frequências e comprimento a qual descreve os modos naturais de vibração da lâmina, tomando a condição de que ela está presa numa das extremidades, como no caso da kalimba, é dada por:

$$f_n = \frac{\pi K}{8L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (\text{Equação 1})$$

Partindo dessa relação matemática e tomando a variação da frequência em função do comprimento da lâmina, considerando, para tanto, todo o resto constante, podemos observar que a frequência do modo fundamental (primeiro modo mostrado na figura) varia com o inverso do quadrado do comprimento da lâmina, ou seja, $f_1 \sim \frac{1}{L^2}$. Isso significa dizer que a frequência de uma lâmina alcança a oitava ($f_2 = 2f_1$) quando:

$$f_2 = 2f_1 \rightarrow \frac{f_2}{f_1} = 2 \rightarrow \frac{\frac{\pi K}{8L_2^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}}{\frac{\pi K}{8L_1^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}} = 2 \rightarrow \frac{1}{L_2^2} = 2 \rightarrow \frac{L_1^2}{L_2^2} = 2 \rightarrow L_1 = \sqrt{2}L_2$$

Da relação acima descrita, podemos concluir que quando a lâmina vibra com a metade de seu comprimento inicial, ou seja, $L_2 = \frac{L_1}{2}$, sua frequência será:

$$L_2 = \frac{L_1}{2} \rightarrow L_2^2 = \frac{L_1^2}{4} \rightarrow \frac{\pi K}{8f_2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{\pi K}{8f_1} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{\pi K}{8f_1} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 4 \rightarrow \frac{1}{f_1} = 4 \rightarrow f_2 = 4f_1$$

Da demonstração acima, podemos concluir que quando a lâmina é posta para vibrar com a metade do seu comprimento inicial, sua frequência será quatro vezes maior, ou seja, duas oitavas. Se voltarmos a observar a figura, veremos que o comprimento útil da lâmina do dó agudo da segunda oitava tem a metade do comprimento útil da lâmina do primeiro dó, o de frequência mais grave, que é o da lâmina central.

Capítulo 5 - Aplicação do produto educacional

Baseados na aprendizagem significativa e nas unidades de ensino potencialmente significativas concebemos um produto educacional, que está posto no apêndice A da presente dissertação, o qual se utilizou de um pequeno instrumento musical, a kalimba, da família dos lamelofones, para o estudo físico e musical da vibração de barras homogêneas, fixas em uma de suas extremidades. A aplicação do produto educacional se deu, em conjunto com 23 alunos de uma turma de 2º ano do ensino médio da Escola de Referência em Ensino Médio Marechal Floriano Peixoto, na Cidade de Olinda-PE, e foi, assim como apresentado no produto educacional em anexo, realizada em três aulas de 50 minutos. A seguir, apresentaremos uma descrição pormenorizada de como se desenrolou cada uma das etapas.

Atividade 1:

Antes de tudo, pedimos que os 23 alunos presentes se dividissem em três grupos de cinco alunos e dois grupos de quatro alunos. É importante deixar claro que não escolhemos os alunos, e sim eles mesmos se escolheram por afinidade o que, para nós, faz grande diferença na interação entre eles. A cada um dos grupos foi dada uma kalimba, uma lâmina de serra, uma régua e total liberdade para utilização do celular e manipulação da kalimba. Na exposição (figura 4), deixamos claro que eles seriam protagonistas na realização das atividades e na resposta a todas as indagações por nós preparadas e que foram, aos poucos, entrando em cena nos questionários. Apresentamos também a tela inicial e alguns modelos da kalimba, dentre eles o clássico utilizado nas atividades e uma variante do modelo original africano, confeccionada com cabaça e hastes de ferro.



Figura 6. Momento introdutório da aplicação do produto educacional.

Antes da formação dos grupos, durante nossa fala introdutória, os alunos já demonstraram grande interesse e curiosidade. Passando de mão em mão, foram tomando contato com as kalimbas, dedilhando pela primeira vez, observando os detalhes de sua confecção, a disposição organizada das lâminas de tamanhos diferenciados, o som característico, os orifícios na caixa de ressonância. As imagens da figura 5 ilustram este momento.



Figura 7. Primeiros contatos com as kalimbas e interesse em tirar sons organizados.

Para surpresa nossa, ainda nestes instantes iniciais, notamos que já havia alunos indo à internet, baixando tablaturas de melodias e executando-as, como no caso de uma aluna que, em poucos minutos, já estava executando as primeiras notas da música “Anunciação” de Alceu Valença. Tomamos como exemplo este momento por ser significativo do interesse da aluna, ao mesmo tempo em que permitiu que, ao executar, reconhecesse a melodia e percebesse que as diferentes notas são produzidas por hastes de tamanhos diferentes. Noutra cena, percebemos duas alunas, no final da sala, cada uma com uma kalimba, testando combinações de notas em conjunto. Enquanto uma arpejava notas mais curtas, a outra construía uma certa linha de notas mais longas. Muito embora de forma intuitiva, as alunas operaram com noções de andamento, duração, altura e intensidade, conceitos da acústica musical cujos correlatos da acústica física poderiam, em outras situações de continuidade, ser trabalhados significativamente. Apesar de não estarem no centro da presente aplicação do produto educacional, demonstram a

potencialidade que o presente produto possui na aprendizagem significativa de uma vasta quantidade de conceitos, tanto da acústica física, quanto da acústica musical. As imagens da figura 6 ilustram os momentos da aluna tocando “Anunciação” (esquerda) e das duas alunas tocando em conjunto (direita)



Figura 8. À esquerda, aluna tocando “anunciação” de Alceu Valença e, à direita, duas alunas tocando em conjunto.

Atividade 2:

Na sequência, pedimos que cada grupo respondesse ao questionário inicial, debatendo, em conjunto, sobre cada uma das perguntas, em busca de respostas coletivas. As imagens da figura 7 ilustram o momento.



Figura 9. Questionário inicial.

Tal questionário, que se encontra no produto educacional em anexo a esta dissertação, foi composto das seguintes perguntas, cujo objetivo era buscar focar a atenção à presença ou não do subsunçor central de nossa investigação, qual seja, o de que a frequência de vibração de um corpo é função das suas dimensões:

1º) Certamente vocês estão habituados a ouvir música. Música dá prazer e é diversão. Vamos pensar sobre os cantores que vocês gostam de ouvir. Pense num cantor e, também, numa cantora de sua preferência. Existe diferença entre suas vozes? Quais? A que você atribuiria tal diferença?

2º) Vamos agora pensar em dois instrumentos musicais bem conhecidos na música popular, a Guitarra e o Contrabaixo. Ambos possuem cordas. Há diferença entre elas? Há diferença entre os sons produzidos por esses instrumentos? A que se deve tal diferença?

3º) Vamos agora lembrar de dois instrumentos de percussão muito presentes no nosso Maracatu, a Alfaia e o Tarol. Há diferença entre eles? Há diferença entre os sons produzidos por esses instrumentos? A que se deve tal diferença?

4º) Há um instrumento que não é muito popular, mas que está presente em muitas bandas marciais que é a Lira. O xilofone é feito de um conjunto de hastes (lâminas). Há diferença entre elas? Há diferença no som produzido por cada uma delas?

Após a entrega dos questionários por parte dos grupos, pedimos que, sem desfazer os grupos, se virassem para a frente da sala para que pudessem assistir ao vídeo sobre a kalimba (<https://www.youtube.com/watch?v=DPmQv2Pp8nk>), o qual apresenta um breve histórico da origem do instrumento, sua afinação, comparação com outros instrumentos como o piano, comuns em nosso meio, bem como a forma de dedilhar as lâminas, tanto no caso da execução de melodias, quanto no caso do arpejo de acordes. Nesse momento, demos uma pausa no vídeo com o intuito de evidenciar uma progressão de acordes de tônica, quarta e quinta, na forma I-IV-I- V-I-I-IV-V-I que aparece no vídeo, a qual é muito comum na música popular. Na sequência, tornamos a reproduzir o vídeo e cantamos um verso de “Asa Branca” de “Luiz Gonzaga”, em cima dessa progressão. Noutro momento, paramos novamente o vídeo para evidenciar detalhes da confecção, bem como das técnicas de execução do instrumento e na produção de efeitos de “wahwah”, abrindo espaço para que os estudantes tentassem reproduzir o citado efeito nas kalimbas disponíveis. No final, provocamos debates sobre o que eles acharam interessante, procurando destacar se observaram detalhes da confecção da kalimba

(presença das lâminas, da caixa de ressonância e dos orifícios), assim como da forma como o som é produzido na kalimba. As imagens da figura 10 ilustram o canto de Asa Branca em cima da progressão acima mostrada.

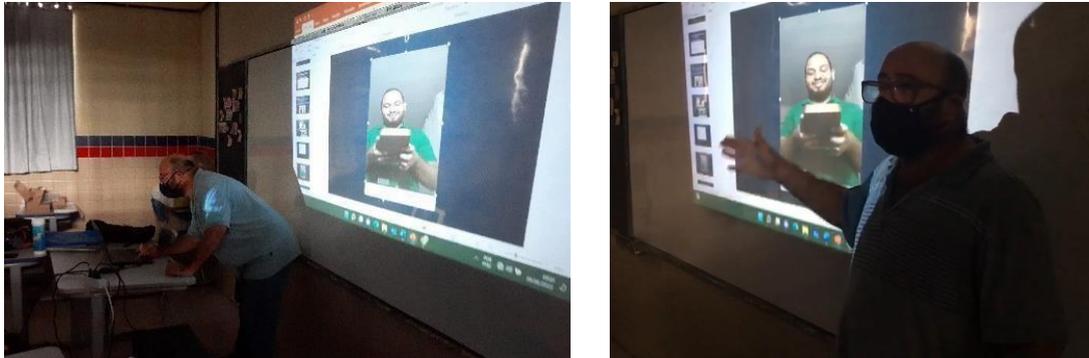


Figura 10. Canto de Asa Branca.

Durante o debate, percebemos contundências que apontam não só para o interesse dos alunos, como também para as inquietações nascidas ao longo do processo. Por exemplo, um aluno indagou, relativamente à primeira pergunta do questionário, caso uma voz não fosse nem aguda, nem grave, ela seria o quê? Daí socializamos a inquietação e introduzimos o conceito de voz média.

Atividade 3:

Essa atividade consistiu na aplicação da atividade experimental 1, a qual tratou da observação da vibração de uma lâmina de serra, guiada por um procedimento de laboratório a ser-lhes entregue no início da atividade, com passos a serem executados e perguntas a serem respondidas, materializando-se aqui o questionário dos conhecimentos prévios. Talvez pelo fato de os alunos terem demonstrado grande interesse em manipular a kalimba, percebemos o interesse em dar continuidade, ainda que, a princípio, eles não tenham notado a relação entre a atividade e o funcionamento das lâminas da kalimba. As imagens da figura 11 ilustram sua execução.



Figura 11. Execução da atividade experimental 1.

Atividade 4:

Depois que todos os grupos entregaram a atividade experimental 1, indagamos sobre o que eles observaram. No debate, percebemos claramente que eles haviam construído a ideia de que, na medida em que a lâmina era encurtada em seu comprimento útil, a frequência aumentava e, a partir de um determinado instante, um som podia ser ouvido. Apesar de essa atividade, de natureza exploratória, sem a medição do comprimento útil da lâmina e, portanto, sem valores numéricos nem do comprimento, nem da frequência, os alunos puderam observar a dependência entre frequência e comprimento, condição necessária à subsunção das atividades 4, 5 e 6.

Nesse momento, introduzimos a equação matemática que descreve o modo fundamental de vibração da lâmina em função do seu comprimento, discutindo os conceitos de frequência e altura, em função do comprimento da lâmina de serra, deixando claro que se tratava do caso particular da lâmina homogênea, presa em uma de suas extremidades e que as outras variáveis presentes na relação matemática permaneceram constantes. Partindo dessa relação matemática, pudemos relevar que a frequência varia com o inverso do quadrado do comprimento da lâmina, ou seja, $f_1 \rightarrow \frac{1}{L^2}$.

Tal apresentação foi preparada no Power Point, a partir da discussão presente no tópico “**Matemática e música no contexto da afinação da kalimba**“ presente no produto educacional anexo à presente dissertação. A figura 10 ilustra o momento em que relacionamos a experiência da lâmina de serra com o funcionamento da kalimba.



Figura 12. Observando os diferentes comprimentos úteis das lâminas da kalimba.

Atividade 5:

Uma vez que ficou clara a dependência entre a frequência e o comprimento da lâmina, partimos, na sequência, para a apresentação e fundamentos de construção da escala cromática de 12 semitons, subjacente à qual está a progressão geométrica cuja razão é $\sqrt[12]{2}$. Então, apresentamos o padrão de intervalos que dá origem à escala maior, evidenciando que essa escala é derivada da escala de 12 semitons e que a afinação ocidental mais comum da kalimba se dá a partir dela. A apresentação, em Power Point, foi realizada a partir dos tópicos “**Escala de igual temperamento, as progressões geométricas e o número da música**” e “**Atessitura da kalimba**”, se fazendo presentes no produto educacional anexo à presente dissertação. As imagens da figura 11 ilustram o momento em que introduzimos os símbolos das notas musicais, para, então, apresentarmos os conteúdos dos tópicos acima descritos.

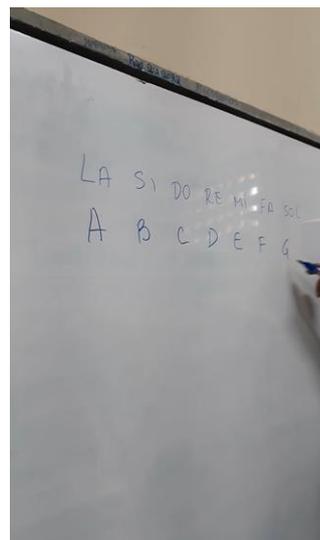


Figura 13. Introdução dos símbolos das notas musicais.

Atividade 6:

Uma vez encerrada a apresentação descrita acima, convidamos os grupos para realizarem a atividade experimental 2, na qual os estudantes mediram o comprimento útil das 8 lâminas maiores da kalimba, ou seja, do dó mais grave até o dó da primeira oitava. Muito embora o produto educacional indique a medição de todas as 17 lâminas, optamos por encurtar esta atividade, temendo que não desse tempo de realizá-la de forma completa. Tais valores foram anotados na ficha de atividade. Na sequência, os estudantes calcularam os comprimentos das outras 7 lâminas, tomando por base o valor medido para a lâmina de maior comprimento (dó), utilizando a razão $1,059 \approx \sqrt[12]{2}$. Na sequência, o erro, para cada uma das sete lâminas, entre o valor medido e o valor calculado. No final, responderam às perguntas da atividade experimental 2. As figuras 12 e 13 ilustram etapas da atividade.



Figura 14. Explicação dos passos a serem realizados na atividade experimental 2.



Figura 15. Um dos grupos realizando a atividade experimental 2.

No próximo capítulo, procederemos à análise dos dados coletados durante a aplicação do produto educacional, realizada em torno das três categorias definidas no capítulo 3.

Capítulo 6 - Análise dos resultados e discussão

Neste capítulo analisaremos, de forma qualitativa e exploratória, as respostas dadas às três etapas da aplicação do produto educacional, quais sejam, o questionário inicial e as atividades experimentais 1 e 2, os quais estão postos no apêndice B da presente dissertação. Além disso, valorizaremos elementos presentes nas respostas, visto que apontam para possibilidades de continuidade, entendendo-os enquanto subsunçores a serem trabalhados na ampliação da aprendizagem da acústica.

As perguntas e respostas, apresentadas a seguir, possuem o caráter de fornecer informações a respeito da aprendizagem que eles tiveram em torno dos conceitos da acústica física e da acústica musical trabalhados durante a aplicação da UEPS. Tal “feedback” pode servir para o planejamento de desdobramentos futuros a fim de aprofundar as relações entre física e música, ampliando o campo perceptivo dos alunos.

CATEGORIA 1: análise das respostas ao questionário inicial

O questionário inicial foi composto de quatro perguntas, todas as quais buscaram levantar se os debates entre os componentes de cada grupo levaram ao entendimento de que as frequências de vibração de um corpo sonoro dependem de suas dimensões. A seguir, apresentamos as perguntas do questionário inicial (atividade 1), bem como as transcrições das respostas dadas por cada grupo. Tais respostas foram transcritas “ipsis litteris”, sem quaisquer correções relativas à norma culta.

P1. Certamente vocês estão habituados a ouvir música. Música dá prazer e é diversão. Vamos pensar sobre os cantores que vocês gostam de ouvir. Pense num cantor e, também, numa cantora de sua preferência. Existe diferença entre suas vozes? Quais? A que você atribuiria tal diferença?

P2. Vamos agora pensar em dois instrumentos musicais bem conhecidos na música popular, a Guitarra e o Contrabaixo. Ambos possuem cordas. Há diferença entre elas? Há diferença entre os sons produzidos por estes instrumentos? A que se deve tal diferença?

P3. Vamos agora lembrar de dois instrumentos de percussão muito presentes no nosso Maracatu, a Alfaia e o Tarol. Há diferença entre eles? Há diferença entre os sons produzidos por estes instrumentos? A que se deve tal diferença?

P4. Há um instrumento que não é muito popular, mas que está presente em muitas bandas marciais que é a Lira. A Lira é feita de um conjunto de hastes (lâminas). Há diferença entre elas? Há diferença no som produzido por cada uma delas?

GRUPO 1:

R1. Teto e Gabriela Rocha, o Teto tem uma voz mais grave e usa autotune. Gabriela Rocha, ela tem uma voz mais aguda e suave consegue também subir muitos tons e também grave.

R2. Sim, com certeza, o som da guitarra possui um som mais agudo, possui cordas mais finas contribuindo para isso. O contrabaixo já possui um som mais grave e possui suas cordas mais grossas contribuindo para isso, essa é a diferença.

R3. Sim, a diferença que o Tarol é um som mais agudo e leve diferente da alfaia que é um som mais grave.

R4. Sim, porque o lado das lâminas que são juntas é mais agudo e o lado das lâminas divididas em duas lâminas e três é mais grave em decorrência a distância e o tamanho das lâminas.

GRUPO 2:

R1. Marília Mendonça e João Gomes. Sim, a voz dela era doce e com um tom suave, já a voz dele é grossa e com um tom forte. Escutando as músicas deles, dá pra atribuir a diferença.

R2. Sim, O contrabaixo é grave e tem as cordas grossas, já que a guitarra tem o som agudo e as cordas mais finas.

R3. Sim. O Tarol tem o som mais aberto e a alfaia tem o som abafado.

R4. Sim, cada tecla possui um som diferente, assim dando para tocar diferentes músicas.

GRUPO 3:

R1. Luan Santana e Joelma, A Joelma tem uma voz mais aguda e o Luan Santana e mais grave.

R2. Guitarra tem mais acordes e mais tarraxas, tem um som mais agudo. Contrabaixo mesmas acordes e mesmas tarraxas tem um som mais grave.

R3. Sim tem diferença, O Tarol menor e é plástico e ferro e esse é mais agudo, Alfaia maior e é de coro é madeira, e esse é mais grave.

R4. Sim, o lado esquerdo o som é mais grave já a direita é agudo.

GRUPO 4:

R1. Orochi – voz grave, MC tocha – voz média, Teto – voz aguda, João Gomes – grave, Marília – Aguda. Há diferença de tons.

R2. Sim, a diferença entre baixo e guitarra é que abaixo tem um som bem mais grave, por isso ele costuma ser usado pra marcar bem o ritmo da música. A guitarra é menor do que o baixo e tem cordas a mais também.

R3. Sim, Tarol faz um som agudo, Alfaia faz um som grave.

R4. Sim, Lira é um instrumento de cordas conhecido pela sua vasta utilização durante a antiguidade.

GRUPO 5:

R1. Adele e Sam Smith, sim o Sam Smith tem a voz consideravelmente mais grave do que a Adele. As timbro das vozes.

R2. Sim, O contrabaixo é mais grave e a guitarra tem mais sons.

R3. Sim, a diferença é dada, pois o Tarol tem um som mais agudo.

R4. Sim, Diferenças nas notas e no Som.

Para a nossa surpresa, as respostas ao questionário inicial foram bastante satisfatórias. Em todos os cinco grupos, as respostas apontaram para a diferença entre sons agudos e sons graves, a saber, entre as vozes feminina e masculina, entre aguitarra e o baixo, entre o tarol e a alfaia e, também entre as teclas de um mesmo instrumento, no caso, a lira. Observemos que no caso da lira, o agudo, o médio e o grave coexistem. De certa forma, a conversa inicial que tivemos com eles, antes da aplicação do questionário inicial, bem como a manipulação da kalimba, pode ter influenciado na atenção que eles deram aos conceitos de agudo e grave nas respostas do citado questionário. Para além dessa constatação, observamos ainda que, em algumas respostas, os alunos foram além da identificação de agudo ou grave, tecendo comentários acerca de outras características peculiares nos sons observados. No caso das vozes, por exemplo, o uso de recursos tecnológicos (autotune) e análise da tessitura de Gabriela Rocha, a característica de ser doce, suave ou forte são elementos que apareceram e que podem servir de mote para aprofundar a aprendizagem em direção ao entendimento do conceito de timbre.

No caso da guitarra e do contrabaixo, todos os grupos atribuíram a qualidade de agudo ou grave à espessura das cordas. Interessante observação apareceu na resposta dada pelo grupo 4, na afirmação de que “a diferença entre baixo e guitarra é que no baixo tem um som bem mais grave, por isso ele costuma ser usado pra marcar bem o ritmo da música. A guitarra é menor do que o baixo e tem cordas a mais também.”. Além da resposta apontar a diferença entre o tamanho da guitarra e do baixo, aparece outro interessante elemento da *performance* musical que é a marcação do ritmo. Novamente enxergamos a possibilidade de continuidade, considerando agora atividades que possam levar à percepção da relação entre as linhas de baixo e a marcação do bumbo da bateria, em que conceitos como duração, intervalo de tempo, podem ser trabalhados.

Tanto no caso do tarol e da alfaia, quanto no caso da lira, todos os grupos apontaram para a diferença de agudo ou grave às dimensões, introduzindo, em alguns casos, outros elementos que podem influenciar como o material com o qual são construídos, como plástico e ferro (tarol) e madeira e couro (alfaia). Interessante notar, ainda, que, mesmo de forma intuitiva, os alunos operaram com importantes conceitos da acústica musical, cujos correlatos da física podem gerar instigantes atividades interdisciplinares.

CATEGORIA 2: análise das respostas da atividade experimental 1

Na atividade experimental 1, buscamos reforçar a subsunção necessária ao entendimento da física da vibração de uma lâmina, reforçando a ideia de que a frequência de vibração é função do comprimento da lâmina e que possui, num sentido lato, a compreensão de que as frequências de vibração de um corpo sonoro dependem de suas dimensões. A seguir, temos as respostas dadas por cada um dos cinco grupos às duas perguntas que estão no final da atividade experimental 1.

P1. O que vocês concluíram a respeito da frequência de oscilação da lâmina?

P2. O que vocês concluíram a respeito da emissão de som?

GRUPO 1:

R1. Entendemos que quanto mais fora do tampo da borda mesa a serra tem uma frequência de oscilação de vibração é menor e mais grave quanto mais ela estiver dentro com quase toda a do corpo da serra a frequência a oscilação de vibração é maior e mais aguda.

R2. Que o som emitido pela serra se da origem da distância e também do numero de frequência de oscilação de vibração que a serra produz.

GRUPO 2:

R1. Quanto mais a lâmina esta fora do tampo (mesa) a sua vibração é menor.

R2. Que quanto mais fora do tampo, o som da lâmina é menor, quando colocamos a lâmina mais pra dentro do tampo o som é mais agudo.

GRUPO 3:

R1. Quanto mais longe mais devagar a lâmina fica.

R2. Quanto mais perto maior o som.

GRUPO 4:

R1. Quanto mais curto, mais rápido fica a oscilação.

R2. Na medida que fica menor o som vai ficando mais agudo.

GRUPO 5:

R1. Quanto maior, mais grave é a frequência, e quanto menor menos grave ela é.

R2. É um som continuo e com diferentes tons.

As respostas dadas pelos cinco grupos à primeira pergunta apontam que houve o entendimento de que a frequência, no caso particular de uma lâmina, depende do seu comprimento útil, muito embora, em algumas delas, os termos não tenham sido precisos. Termos como “vibração menor”, devagar fica a lâmina” e “mais rápida fica a oscilação”

foram utilizados para se referir à frequência. Aqui cabe refletir sobre o que é mais importante, o signo ou o significado? Sem dúvida, a linguagem é formada de signos, significados (semântica) e a relação entre os signos (sintaxe). Nesta análise, importa, num primeiro passo, perceber que a ideia que está por trás destes termos é frequência e, portanto, cientificamente coerente. Nesse sentido, nossa função enquanto educadores seria a de promover a mudança do signo, atribuindo à significação o signo correto (frequência) e não, como muitos de nós acabam fazendo no cotidiano, considerar errado, jogando fora a possibilidade de refinar a aprendizagem, já realizada, melhorando a comunicação com a atribuição dos signos compartilhados pela linguagem científica.

No caso da segunda pergunta, percebemos uma certa discrepância nas significações atribuídas pelos grupos à experiência. Precisamos, observar, antes de tudo, que, na medida que diminuimos o comprimento útil da lâmina, não só a frequência aumenta, mas também a intensidade do som emitido. De fato, quando a frequência é pequena, só conseguimos ouvir o som quando encostamos o ouvido no tampo da mesa. Na medida que a encurtamos, não só a frequência aumenta, mas, também, a intensidade. Essa significação parece estar presente nas afirmações de que “quanto mais perto maior o som” ou “que quanto mais fora do tampo, o som da lâmina é menor”. Desse modo, a maior parte das respostas percebeu a variação da frequência como comprimento.

CATEGORIA 3: análise das respostas da atividade experimental 2

Na atividade experimental 2, buscamos a reconciliação integrativa ou integradora dos conhecimentos e experiências que foram postos em cena nas atividades de 1 a 5, buscando elementos que pudessem apontar para a viabilidade do produto educacional por nós desenvolvido. Nesse sentido, valorizamos a reflexão dos alunos em torno dos conhecimentos necessários ao entendimento dos princípios envolvidos na afinação da kalimba, bem como a construção do subsunçor central da aplicação do produto, qual seja o de que a frequência de vibração de um corpo sonoro é função de suas dimensões. A seguir, apresentamos as perguntas que se encontram ao final da atividade experimental 2, bem como as respostas dadas por cada um dos grupos.

1. Comparando os valores medidos com os valores calculados, o que vocês poderiam concluir com respeito à afinação da kalimba analisada?
2. Parando um pouco para pensar em tudo que foi vivenciado hoje, o que vocês acharam das atividades desenvolvidas em grupo e com o professor, e qual foi o aprendizado que vocês tiveram?
3. Que relações vocês conseguiram perceber entre as comparações da guitarra com o contrabaixo, do Tarol com a Alfaia e da Lira com a Kalimba?

GRUPO 1:

- R1. Concluimos que a afinação está irregular, ou seja, desafinada.
- R2. Nos achamos a aula mais dinâmica e legal do que as outras aulas e também por conhecemos um pouco como funciona o instrumento kalimba. Bom nos aprendemos sobre as vibrações de uma serra depende da distancia do tampo da beira da mesa, e sobre as notas musicais da kalimba e do comprimento.
- R3. Sim que os dois instrumentos produzem sons diferentes por causa do tamanho e da espessura de suas cordas.

GRUPO 2:

- R1. Que ela não está muito afinada.
- R2. Nos gostamos bastante e foi muito frutuosa aprendemos a manusear a kalimba e sobre frequência.
- R3. Cada um tem um som diferente e uma forma diferente de ser manuseado.

GRUPO 3:

- R1. Por causa de milímetros o som consegue ficar diferente.
- R2. Achei bom, a diferença de sequencias.
- R3. Eles fazem sons entre agudo e grave.

GRUPO 4:

- R1. Há uma diferença, pra menor.
- R2. Aprendemos a diferença entre a guitarra e contrabaixo, a diferença entre Tarol e alfaia e sobre a Lira.
- R3. A diferença entre baixos e guitarra e que o baixo tem um som bem mais grave, a guitarra e menor que o baixo e tem cordas a mais também. Tarol faz um som mais agudo, alfaia faz um som grave. Lira é um instrumento de cordas conhecido pela sua vasta utilização durante a antiguidade.

GRUPO 5:

- R1. O que podemos concluir, por mais que o detalhe seja pequeno faz uma grande diferença.
- R2. Gostamos porque a atividade sendo mais divertida faz a gente se interessar mais e aprendemos cálculos e teorias sobre a música.
- R3. Que os que tem o som mais grave possui menor nota e a corda mais fina e longa.

Com respeito à primeira pergunta da atividade experimental 2, a qual buscamos centrar a atenção na relação entre os desvios, na diferença entre os valores medidos e os calculados para os comprimentos úteis das oito primeiras lâminas da kalimba, todos os grupos chegaram à compreensão de que existem diferenças e tais diferenças resultam da desafinação dos exemplares analisados. Tal conclusão pode ser percebida nas respostas dadas pelos grupos 1, 2 e 4, respectivamente, “concluimos que a afinação está

irregulada, ou seja, desafinada”, “que ela não está muito afinada” e “Há uma diferença, pra menor”. Interessante registrar que as repostas dadas pelos grupos 3 e 5, além de apontarem para a desafinação, perceberem, intuitivamente, um detalhe importantíssimo no estudo da sensibilidade da percepção auditiva, qual seja, o de que o ouvido percebe variações muito pequenas de frequência e que, por isso, os instrumentos musicais precisam ser afinados com bastante precisão. Ao afirmarem que “por causa de milímetros o som consegue ficar diferente” e que “o que podemos concluir, por mais que o detalhe seja pequeno faz uma grande diferença” indica para esta maravilhosa característica da audição humana.

As respostas dadas às perguntas 2 e 3 da atividade experimental 2 apontam que os alunos gostaram bastante do que foi vivenciado. Adjetivos como “dinâmico”, “legal”, “frutuosa”, “boa”, “divertida” e “interessante”, emprestados à atividade são sinais do envolvimento dos alunos, apontando para a viabilidade do produto educacional por nós construído no despertar da curiosidade, elemento central para a aprendizagem significativa. Segundo Moreira (2011), as condições para que haja aprendizagem significativa são duas: que o material apresentado para o aluno seja potencialmente significativo e que não há aprendizagem se não houver predisposição para aprender. Tal disposição já ficou evidente desde os primeiros momentos, quando a curiosidade em conhecer o instrumento, manuseá-lo, motivou-os a permanecer de forma ativa até o final. Tal curiosidade foi se tornando epistemológica, na medida em que novos aportes teóricos foram sendo introduzidos por meio dos diálogos e atividades experimentais, o que tornou possível as sínteses construídas nas repostas às perguntas 2 e 3, valorizando o aprendizado musical e físico, em afirmações do tipo “aprendemos a manusear a kalimba e sobre frequência” ou que “cada um tem um som diferente e uma forma diferente de ser manuseado”. No final, ficou evidente a necessidade de continuidade e que é possível ir muito além com o presente produto educacional.

Capítulo 7 - Considerações finais e possibilidades de continuidade

As reflexões em torno do percurso vivenciado por nós, enquanto professores mediadores, pesquisadores em ação, levou-nos a perceber alguns “feelings” que foram aqui sintetizados, como fruto de nossa pesquisa.

Primeiramente, quando refletimos sobre o problema de nossa pesquisa, como apresentado no capítulo 1, vemos que valeu a pena todo o esforço empreendido nos últimos dois anos e meio. Percebemos, claramente, um avanço em direção à promoção de um ambiente em sala de aula mais propício à aprendizagem significativa, o qual acontece quando conseguimos quebrar as algemas da tradicionalidade em direção ao diálogo, valorizando o protagonismo, as experiências prévias, a experimentação que é própria da ciência, a curiosidade que é o motor da descoberta e o fazer música no seu contexto, valorizando o “hands on” e o debate em torno dos questionamentos, dando aos estudantes a oportunidade de desenvolver sua argumentação.

Numa segunda reflexão, pudemos apreender que os objetivos tomados como nortes para os passos que se iniciavam foram alcançados, não como imaginávamos, mas como de fato, aconteceram. Os alunos conseguiram perceber que a vibração de uma lâmina no seu modo fundamental depende de seu comprimento, inclusive ampliando a compreensão de que as frequências de vibração de um instrumento dependem das suas dimensões. Nesse percurso, percebemos que a ludicidade e a curiosidade são fatores importantes na aprendizagem, pois são o caminho para despertar o interesse, uma vez que os alunos aprendem se estiverem motivados para tal. Em diversos momentos, percebemos o envolvimento da grande maioria dos alunos que participaram. Por fim, valorizar o protagonismo, desde a identificação desse instigante instrumento musical, sua afinação, reconhecimento das notas musicais de cada uma das lâminas, a relação com suas frequências de vibração com vistas à apreensão do modelo físico representativo dos modos normais de vibração da lâmina, de sorte que resultou numa participação ativa na manipulação do instrumento, que levou à percepção auditiva da variação do som de acordo com o comprimento de cada lâmina.

Com respeito à categoria de análise 1, notamos que o debate entre os componentes de cada grupo em torno das respostas ao questionário inicial levou, em parte, à percepção da relação entre os modos normais de vibração e as dimensões vibrantes dos

corpos sonoros, como podemos observar, por exemplo, nas respostas dadas pelos grupos 1 e 4: “Sim, a diferença é que o Tarol é um som mais agudo e leve diferente da alfaia que é um som mais grave”; e “Sim, a diferença entre baixo e guitarra é que abaixo tem um som bem mais grave, por isso ele costuma ser usado pra marcar bem o ritmo da música”. Nessa última, os alunos foram além, identificando, na tessitura grave do baixo, a função de marcação dos tempos do compasso numa banda. Esta primeira etapa foi muito importante, na medida em que nos permitiu levar em consideração a imprescindível identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca do tema, para a consecução das atividades.

Com respeito à categoria 2, a atividade experimental 1 permitiu a construção ou reforço da subsunção necessária ao entendimento da física da vibração de uma lâmina, reforçando a ideia particular de que a frequência de vibração é função do comprimento da lâmina. Tal afirmação pode ser percebida, por exemplo, nas respostas dadas pelos grupos 1 e 2, respectivamente, “Entendemos que quanto mais fora do tampo da borda mesa a serra tem uma frequência de oscilação de vibração é menor e mais grave” e “Que quanto mais fora do tampo, o som da lâmina é menor, quando colocamos a lâmina mais pra dentro do tampo o som é mais agudo.”. Durante tal atividade, o diálogo permitiu a diferenciação progressiva em torno das equações que foram aprendidas, culminando no que seria um construto de conhecimentos sobre todos os tópicos abordados naquele momento.

Por fim, com respeito à categoria de análise 3, o percurso apontou a viabilidade da atividade experimental 2 na reconciliação integradora dos conhecimentos físicos e musicais, agora percebendo a relação entre cada lâmina da kalimba e a experiência da serra, bem como os diferentes comprimentos que geram as diferentes frequências do espectro das notas musicais do citado instrumento. Pelas respostas dadas pelos cinco grupos (“Sim que os dois instrumentos produzem sons diferentes por causa do tamanho e da espessura de suas cordas”; “Cada um tem um som diferente e uma forma diferente de ser manuseado”; “Eles fazem sons entre agudo e grave”; “A diferença entre baixos e guitarra é que o baixo tem um som bem mais grave, a guitarra é menor que o baixo e tem cordas mais também. Tarol faz um som mais agudo, alfaia faz um som grave. Lira é um instrumento de cordas conhecido pela sua vasta utilização durante a antiguidade”; e “Que os que tem o som mais grave possui menor nota e a corda mais fina e longa.”), ficou clara tal reconciliação integradora, em discursos unificadores do tipo “produzem sons diferentes por causa do tamanho”; “Eles fazem sons entre agudo e grave”, apontando para a aprendizagem significativa.

Por todos esses aspectos, podemos asseverar que o desempenho dos alunos forneceu evidências da aprendizagem significativa, com momento de progressão e integração de saberes, os quais eles nem imaginavam que guardavam relações tão próximas, aumentando o seu campo perceptível no estudo das ondas sonoras.

Em meio a tantas certezas de que as atividades foram positivas, percebemos que os alunos não obtiveram tanto êxito no entendimento de que as frequências das notas musicais progridem geometricamente, como mostrado na parte teórica do produto educacional (apêndice A). De fato, a atividade de medir o comprimento das lâminas e comparar com os valores previstos, tomando como base a progressão geométrica de razão $^{12}\sqrt{2}$, não resultou muito eficaz, talvez em face da exiguidade de tempo, apontando como ponto de partida para nova subsunção. As respostas dadas pelos cinco grupos (“Concluimos que a afinação está irregular, ou seja, desafinada”; “Que ela não está muito afinada”; “Por causa de milímetros o som consegue ficar diferente”; “Há uma diferença, pra menor”; “O que podemos concluir, por mais que o detalhe seja pequeno faz uma grande diferença”) indicam que eles perceberam a desafinação, mas não dialogaram com a experiência matemática vivenciada como argumento.

Ao longo do processo, percebemos algumas possibilidades de continuidade, nascidas, em parte, pelas inquietações lançadas pelos estudantes, e noutra pelo policial em busca da essência, num constante movimento entre ser professor e ser pesquisador. Além das possibilidades de continuidade que foram acima colocadas, no âmbito da análise das respostas do questionário inicial e das atividades experimentais 1 e 2, vale ainda ressaltar outras que foram percebidas nas falas dos estudantes. Uma delas nasceu da pergunta de um estudante sobre a possibilidade de vozes que não são nem graves nem agudas. Que tal um passeio no conceito de tessitura? O que antes era dúvida, se reconstrói como subsunção na construção das tessituras, diga-se, não só das vozes, baixo, barítono, tenor, tenorina, contralto e soprano, mas também dos instrumentos musicais, classificando-os em famílias, sendo a do órgão a maior tessitura dentre eles. Só a história do órgão, seu desenvolvimento, sua relação com o sagrado, bem como seus princípios de funcionamento, já dariam projetos extraclasse de grande potencialidade. Isso sem falar dos órgãos elétricos, dos sintetizadores, e, mais recentemente, dos sintetizadores virtuais, dos controladores MIDI e da música computacional, nos quais as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente tomam proporções inimagináveis, disponíveis para transposições didáticas, na forma ou não de produtos educacionais.

Outra, por nós percebida, ocorreu por ocasião de duas estudantes, cada uma com uma kalimba, ensaiarem melodias em dueto. O que ali acontecia de forma intuitiva,

ingênua, poderia se constituir num maravilhoso laboratório de construção de relações entre matemática, física e música, em que conceitos como andamento, figuras de notas musicais, fórmula de compasso poderiam entrar em cena, possibilitando o caminho da ingenuidade para a criticidade.

Mais inquietador foi perceber, logo no início da unidade de ensino, uma aluna tocando as primeiras notas da melodia de “Anunciação” de Alceu Valença. Buscou na internet a tablatura da música (figura 14) e já foi tocando. Naquele momento, fizemos questão de nos dirigirmos a toda a turma, inquietando-os acerca da facilidade que ela estava tendo em tocar, mesmo sendo o primeiro contato com a kalimba. Fizemos questão de mostrar o detalhe das unhas dos polegares: arqueadas, compridas e afinadas nas pontas, o que consiste num ideal para quem pretende enveredar pela execução deste instrumento. E a continuidade? Dar-se-ia no estudo da música e das técnicas de execução do instrumento, reforçada nas idas e vindas entre ciência e cultura musical.

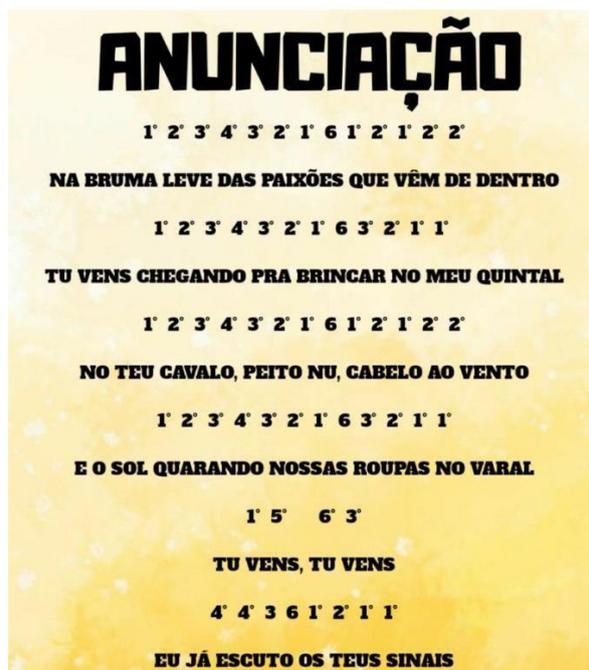


Figura 16. Tablatura da melodia da música “Anunciação”, de Alceu Valença, para executar na kalimba (fonte: <https://www.kalimbatabs.net/kalimba-tabs-tutorials/anunciacao-alceu-valenca/>).

Por fim, chamou-nos a atenção o fato de os alunos que participaram do processo tecerem comentários sobre a experiência vivenciada, no grupo de WhatsApp da turma, o que é sinal de que o momento foi marcante. Comentários do tipo “quando teremos a próxima?”, “eu estava ali para participar” são indícios da satisfação por poderem participar. Não podemos nos furtar à oportunidade de expressar a força com que os depoimentos apontaram para a importância das atividades lúdicas nas aulas de ciências. As atividades desenvolvidas utilizando-se da kalimba e de alguns acessórios não só despertaram o interesse, a curiosidade, mas também, e principalmente, buscaram transformar a curiosidade em curiosidade epistemológica, isto é, em motivação para uma aprendizagem significativa. Com a força dessa motivação, não é muito lembrar de uma passagem presente no livro “Pedagogia da Autonomia” (FREIRE, 2002, p. 39-40), na qual Freire afirma que

“É pensando criticamente a prática de hoje ou de ontem que se pode melhorar a próxima prática. O próprio discurso teórico, necessário à reflexão crítica, tem de ser de tal modo concreto que quase se confunda com a prática. O seu "distanciamento" epistemológico da prática enquanto objeto de sua análise deve dela "aproximá-lo" ao máximo. Quanto melhor faço esta operação tanto mais inteligência ganha da prática em análise e maior comunicabilidade exerce em torno da superação da ingenuidade pela rigorosidade. Por outro lado, quanto mais me assumo como estou sendo e percebo a ou as razões de ser de porque estou sendo assim, mais me torno capaz de mudar, de promover-me, no caso, do estado de curiosidade ingênua para a curiosidade epistemológica. Não é possível a assunção que o sujeito faz de si numa certa forma de estar sendo sem a disponibilidade para mudar. Para mudar e de cujo processo se faz necessariamente sujeito também.”.

Guardada a devida humildade frente a uma afirmação tão profunda, buscamos promover autonomia e criticidade, emprestando ao experimento, além do caráter motivador, o elo entre o ser e o outro, entre o ser e a cultura que o humaniza, via transformadora da curiosidade ingênua em curiosidade epistemológica. Não podendo um existir sem o outro, ser e cultura não estão apartados por um ensino propedêutico, desvinculado da realidade dos alunos, nem tampouco negar o direito de ser problematizador. Inquietando-os, podemos abrir espaço para uma trajetória do ser no mundo, mesmo que seja circunscrita a um instrumento musical em particular, pois ali está a mão do homem que o inventa e reinventa a cada vez que o visita. Esperamos, com essas palavras, dizer que muitas são as possibilidades de continuidade usando ainda o

mesmo instrumento, pois o universo que o circunda é o mesmo de todos os outros instrumentos musicais que podem, no ato cognoscente, tornar-se mais um elo na construção de uma educação transformadora de homem e mundo.

O trabalho como um todo mostrou o quanto é importante buscarmos estratégias e metodologias alternativas de ensino, levando sempre em consideração as sugestões, os interesses, as curiosidades e os conhecimentos incorporados pelos educandos em seu cotidiano. A análise da aplicação do produto, bem como dos dados coletados, apontou para a importância do protagonismo na aprendizagem significativa, bem como para a construção de um importante subsunçor para a continuidade dos estudos em acústica, qual seja, o de que a frequência de vibração de um corpo é função de suas dimensões. Nessa direção, os alunos puderam manipular o instrumento, e alguns até tocaram pequenos trechos de melodias encontradas na internet, além de refletirem sobre os princípios físicos, matemáticos e musicais do funcionamento do instrumento objeto de nosso estudo.

Referências bibliográficas

ARAÚJO FILHO, J. V. **Sequência de ensino por investigação significativa no estudo das relações entre física e música em atividades experimentais envolvendo o oscilador de Melde**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 58 – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, 2018. Disponível em: <<http://mnpef.ufrpe.br/?q=pt-br/dissertacoes>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

CUNHA, R. C. **Investigando a equação de uma onda estacionária no tempo e no espaço por meio de atividades experimentais como organizadores avançados**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 58 – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, 2019. Disponível em: <<http://mnpef.ufrpe.br/?q=pt-br/dissertacoes>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

FREIRE, P. R. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 25ed. São Paulo: Paz e Terra, 2002.

JARDIM, M. I. A.; ERROBIDART, N. C. G.; GOBARA, S. T. Levantamento dos trabalhos em ensino de física que investigaram ondas sonoras. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA - EPEF, XI, 2008, Curitiba/PR. **Anais...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Física, 2008.

MACIEL NETO, A. S. **Sequência didática para a aprendizagem significativa da acústica física e da acústica musical, relativas aos tubos sonoros, utilizando organizadores prévios e atividades experimentais com o tubo de Kundt**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 58 – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, 2019. Disponível em: <<http://mnpef.ufrpe.br/?q=pt-br/dissertacoes>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

MEDEIROS, A. C. B. **Ciência e percepção: Aprendizagem significativa do conceito de ressonância por meio de atividades experimentais como organizadores avançados**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 58 – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, 2019. Disponível em: <<http://mnpef.ufrpe.br/?q=pt-br/dissertacoes>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

MONTEIRO JÚNIOR, F. N.; MEDEIROS, A. J. G. Distorções conceituais dos atributos do som presentes nas sínteses dos textos didáticos: aspectos físicos e fisiológicos. **Ciência & Educação** (Bauru), v. 5, n. 2, p. 01 – 14, 1998.

MONTEIRO JÚNIOR, F. N. **Educação sonora: encontro entre ciência, tecnologia e**

- cultura. 2012. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências. Faculdade de Educação. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho(UNESP), Bauru/SP, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/102066>>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- MOREIRA, M. A. **Unidades de ensino potencialmente significativas – UEPS**. Porto Alegre: instituto de Física, 2016. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>> Acesso em 12/06/2022.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2ed. São Paulo: EPU, 2011a.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: o conceito subjacente**. Aprendizagem Significativa em Revista, v. 1, n. 3, 2011b.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2ed. São Paulo: Centauro, 2006.
- OLIVEIRA FILHO, J. P. **Sequência didática investigativa baseada nos três momentos pedagógicos de Delizoicov para a determinação experimental da velocidade do som no ar**. 2022. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 58 – Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, 2022. Disponível em: <<http://mnpef.ufrpe.br/?q=pt-br/dissertacoes>>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- OSTERMANN, F.; CAVANCANTI, C. J. H. **Teorias de aprendizagem**. Porto Alegre: Evangraf (UFRGS), 2011.
- ROSA, P. R. S. Uma introdução à pesquisa qualitativa em ensino de ciências. Campo Grande: UFMS, 2013.
- STUDART, N. Inovando a Ensinagem de Física com Metodologias Ativas. **Revista do Professor de Física**: v. 3, n. 3, 2019.
- FLETCHER, Neville H; ROSSING, Thomas D. Continuous Systems in One Dimension: Strings and Bars. In: The Physics of Musical Instruments. Nova York, Springer-Verlag, 1991. Capítulo 2, p. 33-64.
- SOUZA, R. C. Um modelo de kalimba em Csound usado em o livro dos sons. **Música Hodie**, v. 11, n. 1, 2011.

Apêndice A - Produto educacional

Apresentação

O presente produto educacional consiste na utilização lúdica e participativa de um instrumento da família dos lamelofones denominado Kalimba, com o qual buscamos construir, de forma significativa, a aprendizagem em torno da física da vibração de lâminas homogêneas, no caso particular da lâmina com um dos terminais fixo e vibrando no modo fundamental. Ao mesmo tempo, construir um diálogo de tal estudo com a acústica musical, evidenciando a íntima relação entre a frequência fundamental de vibração de cada lâmina e a respectiva nota musical. Permite ainda avançar na identificação da escala musical presente na afinação mais comum do instrumento aqui no Brasil, bem como identificar as oitavas ao longo das hastes. Esperamos que nosso estudo contribua para os colegas professores de física do país, trazendo o universo da música para as aulas de física, de forma interdisciplinar e evidenciando a beleza que há quando olhamos o mundo a partir do diálogo entre ciência e arte. Sendo ambas, a física e a música, criações do espírito humano, culturas nascidas da mesma realidade, acrescentamos que o homem faz aquilo que ele não criou, esse interessante instrumento musical de origem africana, a partir da perspectiva da aprendizagem significativa, um elo entre estas duas culturas, que outrora caminharam juntas e que, agora, dialogam a partir de uma proposta pedagógica. Mas o que é a kalimba?

A Kalimba consiste em um conjunto de lâminas (também chamadas teclas) fixado no tampo superior de uma caixa de ressonância com um ou mais orifícios, cuja função é a de otimizar a propagação do som produzido pela vibração das lâminas e amplificado pela caixa de ressonância. Os lamelofones são geralmente construídos sobre uma base de madeira. Em alguns casos, essa base pode ser a própria caixa de ressonância do instrumento. Há diversos tipos de lamelofones, desde aqueles construídos em cima de tábuas, até os mais sofisticados, com os quais é possível executar melodia quando devidamente afinados.

Para aumentar o volume/intensidade do som, o lamelofone é acoplado dentro ou sobre um corpo ressoador, que tem a mesma função da caixa de um violão ou violino ou ainda de um piano, amplificando o som. Por meio dos dois cavaletes, a vibração das lâminas, produzidas pelo dedo do executante, se propaga para a caixa, onde ganha intensidade, permitindo que uma melodia seja escutada por outras pessoas, assim como ocorre com instrumentos musicais como os acima citados.

A kalimba pertence à família dos lamelofones e, apesar de ser de origem africana, propagou-se pelo mundo, chegando, inclusive, ao Brasil no século XVIII, vindo juntamente com os africanos. *Jean-Baptiste Debret*, pintor, desenhista e professor francês retratou, num quadro daquele período, a chegada do instrumento, como visto na figura 1. Tal instrumento, também conhecido como Mbira, surgiu no vale do Zambeze, numa região que hoje faz parte da República do Zimbábue. Os primeiros instrumentos eram feitos de madeiras de palmeiras, bambus ou de outros vegetais e datam de 1.000 a.C.



Figura 1. Chegada da kalimba ao Brasil.

Hoje é possível adquirir esse instrumento na internet com preço acessível, inclusive em diversos tamanhos e versões. Na figura 2 apresentamos os modelos adquiridos por nós para utilização em sala de aula, quando aplicamos o presente produto educacional numa escola da rede estadual de ensino do estado de Pernambuco. Na foto da esquerda, temos uma kalimba de tamanho comum, com 13 cm de largura, 18 cm de comprimento e 3,5 cm de altura da caixa de ressonância. Na figura da direita,

apresentamos a outra kalimba adquirida, com 5,0 cm de largura máxima, 6,5 cm de comprimento máximo, e 1,5 cm de altura da caixa de ressonância. Optamos por adquirir estes dois modelos para contrastar as tessituras, ou seja, a faixa de altura das notas de uma e da outra, uma vez que enquanto a kalimba da esquerda possui uma tessitura mais grave, a da direita possui uma tessitura mais aguda, além do timbre ser mais brilhante, semelhante ao som de uma caixinha de música. Além disso, permite a escuta atenta, por parte dos estudantes, das nuances dos sons produzidos por cada um dos citados modelos. Deixamos aqui como possibilidade de utilização futura por outros colegas professores de física que venham a utilizar o produto educacional. Na aplicação do produto, só utilizamos o modelo da esquerda. Há uma vasta quantidade de vídeos na internet, ensinando a tocar, bem como de execução de melodias de músicas famosas. Há até vídeos de executantes já bastante avançados, exibindo impressionantes técnicas de solo. Além de ser um instrumento de fácil transporte, consiste em um excelente exercício de aprendizado das bases da harmonia e melodia, além de ser prazeroso. Mas como são produzidas as diferentes notas musicais na kalimba?



Figura 2. Modelos da kalimba adquiridos para a aplicação do produto educacional.

Afinação da kalimba

As lâminas precisam ter tamanhos úteis adequadamente diferentes para reproduzirem todas as notas da escala diatônica maior, e são postas em cima dos dois cavaletes e pressionadas contra eles pelo travessão, o qual, por sua vez, consiste numa

barra de metal que é aparafusada no tampo superior da caixa de ressonância. Por meio do aperto desses parafusos, ajustamos a pressão de fixação das lâminas. Essa barra transversal de metal é colocada entre os dois cavaletes e acima das lâminas, possuindo a função de pressionar a parte final das lâminas, bem como a função de ajuste do comprimento útil, tamanho adequado para produzir a frequência de vibração da nota musical a ela destinada. A figura 3 mostra detalhes da construção. Podemos observar que são dois cavaletes abaixo das lâminas e um suporte acima delas e entre os dois, permitindo, assim, a fixação de uma extremidade de cada lâmina, minimizando, portanto, qualquer possibilidade de desafinar o instrumento durante uma execução. É importante que se diga que a afinação encontrada nas primeiras kalimbas não era ocidental. Dentre quintas justas que eram encontradas, havia outros intervalos que não se encaixavam nos padrões de intervalos próprios da música ocidental, ainda em evolução e que viria a culminar no estabelecimento da escala de 12 semitons igualmente temperados, apresentada mais adiante. Com o passar do tempo, estas notas musicais foram sendo substituídas pelas notas das escalas ocidentais, além de afinações pentatônicas e modos gregos. Contudo, o que temos hoje de mais comum é a afinação da escala maior, derivada da escala de 12 semitons igualmente temperados. Os lamelofones com escalas cromáticas são recentes e ainda muito pouco difundidos, muito embora a escala mais utilizada para a afinação da kalimba seja esta. E como ajustamos o tamanho útil de cada lâmina?

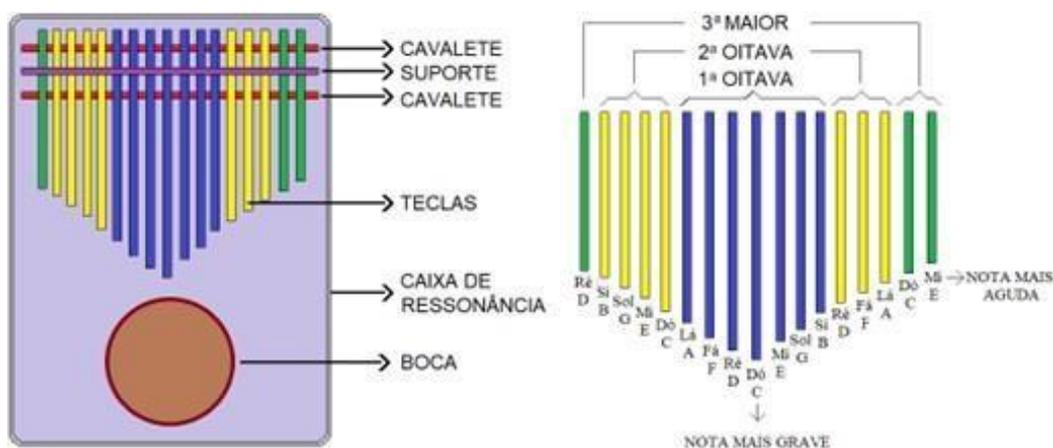


Figura 3. Fixação e disposição das lâminas e identificação das notas musicais.

Ajustando o tamanho útil de cada lâmina

As lâminas são arranjadas alternadamente, dispondo a lâmina da nota mais grave no centro e, a partir daí, as subsequentes da escala são colocadas, alternadamente, à esquerda e à direita, e daí por diante, até chegar às notas mais agudas, nos extremos esquerdo e direito. O tamanho útil é aquela parcela da lâmina que está livre para vibrar, ou seja, o comprimento medido da extremidade livre até o ponto de apoio em cima do segundo cavalete, aquele que está mais próximo da boca do instrumento. Folgando a barra, ajustamos o tamanho útil de cada lâmina para reproduzir exatamente a frequência da nota musical de cada uma delas e, feito isso, reapertamos os parafusos para fixação das lâminas. A parte esquerda da figura 4 ilustra essa disposição, na pauta da clave de sol, para a primeira oitava, da nota mais baixa, no meio, para a nota mais alta no final. A parte da direita ilustra a nota de cada uma das lâminas para a afinação mais comum da kalimba. E como desenvolvemos as técnicas de execução desse fascinante instrumento?

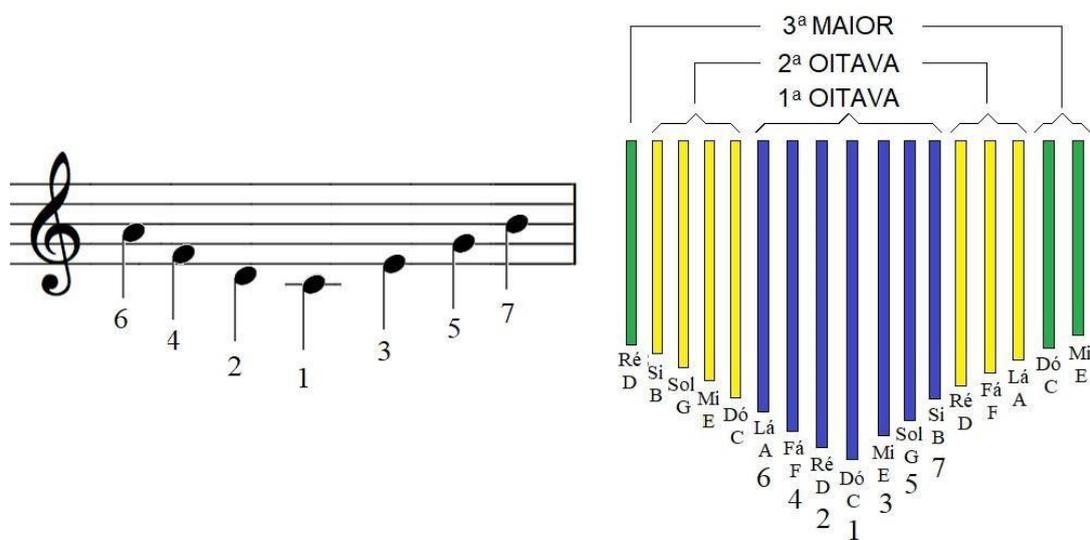


Figura 4. Posição das notas musicais da primeira oitava na pauta (clave de sol).

As técnicas de execução e o auxílio do Youtube

Há interessantes atividades, exercícios, para adquirir destreza na execução do instrumento musical em apreço, como mostrado nos exemplos da parte direita da figura 5. São exercícios cujo objetivo é familiarizar o executante com a digitação da escala em suas formas ascendente e descendente e, também, com arpejos relativos aos acordes que podem ser construídos para a harmonização de melodias que possam ser executadas em outra kalimba, formando, assim, uma apresentação musical. O Youtube tornou-se

um espaço de compartilhamento de vídeos sobre a execução musical da kalimba. Lá é possível, partindo do zero, conseguir, de forma constante e dentro do ritmo de cada pessoa, aprender a tocá-la. Uma vez que, como dito, a afinação da kalimba é feita por meio do ajuste do comprimento útil de cada lâmina, o qual é medido exatamente no ponto da lâmina que fica em cima do segundo cavalete, o que fica mais perto da boca do instrumento, movê-las em direção ao tocador tornará as notas mais graves, enquanto movê-las na direção oposta tornará as notas mais altas. A frequência fundamental de vibração das lâminas também pode ser alterada de acordo com sua forma e flexibilidade do material, alterando assim a ressonância dos harmônicos. A figura 5 mostra a disposição das notas musicais de acordo com a afinação mais comum da kalimba, realizada com o auxílio de um afinador (“tuner”) instalado em smartphone, consistindo em uma atividade a ser desenvolvida em sala de aula, como forma de aprendizado de conceitos relacionados à acústica música, além do que valoriza o desenvolvimento de habilidades no uso de aplicativos de áudio para smartphone. Existe uma vasta quantidade de aplicativos afinadores gratuitos disponíveis para smartphone, a maioria dos quais de fácil utilização. Nesse contexto, mesmo que não valorize o desenvolvimento da escuta musical no processo de afinação, tem seu valor na medida em que valoriza a inserção das NTIC’s no ensino de física. Em resumo, concebemos pelo menos três atividades organizadoras de conhecimentos e habilidades relativos à acústica física e musical, quais sejam: afinação com o auxílio de aplicativos; afinação a partir da medição dos comprimentos úteis das lâminas; e afinação a partir da comparação com um instrumento já afinado ou diapasão, valorizando, nessa última, a escuta musical e seu desenvolvimento como habilidade. Mas qual a relação matemática entre a frequência fundamental de vibração de uma lâmina e a respectiva nota musical?

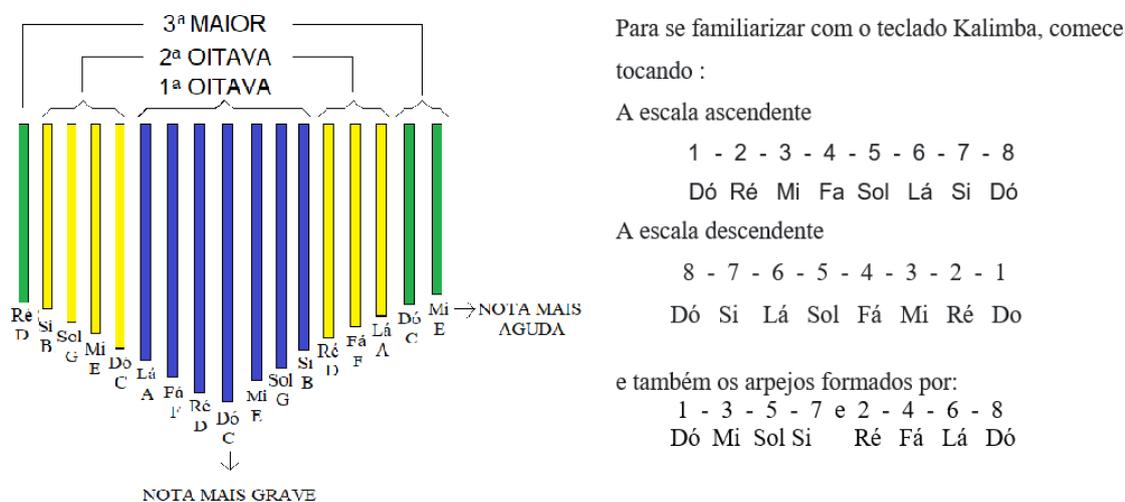


Figura 5. Afinação mais comum da kalimba.

Matemática e música no contexto da afinação da kalimba

Sabemos que quando uma lâmina, presa em uma das extremidades é posta para vibrar, ela vibra em frequências que dependem, fundamentalmente, da sua elasticidade e comprimento. A figura 6, retirada do livro “The Physics of Musical Instruments”, de Neville H. Fletcher e Thomas D. Rossing (1993), ilustra os quatro primeiros modos de vibração da barra.

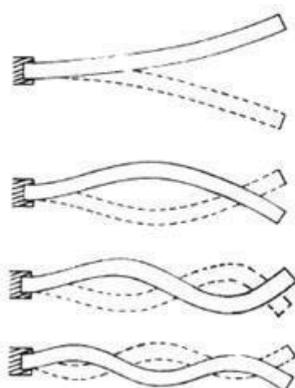


Figura 6. Quatro primeiros modos de vibração de uma barra fixa numa das extremidades.

O desenvolvimento do modelo matemático infelizmente não cabe aqui como proposta para o ensino médio. Contudo, vale dizer que a fórmula que descreve os modos naturais de vibração da lâmina, tomando a condição de que ela está presa numa das extremidades, como no caso da kalimba, é dada por:

$$f_n = \frac{\pi K}{8L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (\text{Equação 1})$$

Partindo dessa relação matemática e tomando a variação da frequência em função do comprimento da lâmina, considerando, para tanto, todo o resto constante, podemos observar que a frequência do modo fundamental (primeiro modo mostrado na figura) varia com o inverso do quadrado do comprimento da lâmina, ou seja, $f_1 \sim \frac{1}{L^2}$. Isso significa dizer que a frequência de uma lâmina alcança a oitava ($f_2 = 2f_1$) quando:

$$f_2 = 2f_1 \rightarrow \frac{f_2}{f_1} = 2 \rightarrow \frac{\frac{\pi K}{8L_2^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}}{\frac{\pi K}{8L_1^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}} = 2 \rightarrow \frac{\frac{1}{L_2^2}}{\frac{1}{L_1^2}} = 2 \rightarrow \frac{L_1^2}{L_2^2} = 2 \rightarrow L_1 = \sqrt{2}L_2$$

Da relação acima descrita, podemos concluir que quando a lâmina vibra com a metade de seu comprimento inicial, ou seja, $L_2 = \frac{L_1}{2}$, sua frequência será:

$$L_2 = \frac{L_1}{2} \rightarrow L_2^2 = \frac{L_1^2}{4} \rightarrow \frac{\pi K}{8f_2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{\pi K}{8f_1} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{\pi K}{8f_1} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 4 \rightarrow \frac{1}{\frac{f_1}{f_2}} = 4 \rightarrow f_2 = 4f_1$$

Da demonstração acima, podemos concluir que quando a lâmina é posta para vibrar com a metade do seu comprimento inicial, sua frequência será quatro vezes maior, ou seja, duas oitavas. Se voltarmos a observar a figura, veremos que o comprimento útil da lâmina do dó agudo da segunda oitava tem a metade do comprimento útil da lâmina do primeiro dó, o de frequência mais grave, que é o da lâmina central.

É preciso deixar claro que a kalimba é afinada na escala diatônica maior, reproduzindo as notas das teclas brancas do piano. Mas o que é a escala diatônica maior? Antes de chegar a ela, vamos primeiro discutir como é construída a escala de 12 semitons igualmente temperados, conhecida como escala cromática, a qual é a base de toda a construção melódica e harmônica da música ocidental, incluindo as escalas ocidentais que são derivadas da escala de 12 semitons.

Escala de igual temperamento, as progressões geométricas e o número da música

Segundo Monteiro Júnior (2012), a música ocidental está baseada na escala cromática de 12 semitons (doze notas), igualmente temperados. Nessa escala, as dozenotas musicais dividem a oitava numa progressão geométrica na qual o 13º termo, o intervalo de oitava, ou seja, a nota de mesmo nome, possui o dobro da frequência da fundamental (primeira nota). Mas o que é intervalo?

O intervalo “I” entre duas notas quaisquer é a razão entre suas frequências. Uma vez que quanto maior a frequência de uma nota, maior sua altura, temos $I = \frac{f_2}{f_1}$. Por exemplo, o intervalo de quinta justa ocorre quando $I = \frac{3}{2}$, o de quarta justa quando $I = \frac{4}{3}$ e o de oitava, quando $I = 2$. Em música, diz-se que quando duas notas estão separadas por um intervalo de oitava, elas são iguais, e toda escala musical começa e termina na mesma nota musical, separadas por um intervalo de oitava, ou seja, começa com uma nota de frequência f e termina com a mesma nota, agora com frequência $2f$. Em nosso produto educacional, utilizamos a kalimba de 17 teclas. A tessitura (distância entre a nota mais grave e a mais aguda) do instrumento alcança duas oitavas e uma terça maior, como ilustrado na figura 1, acima analisada, indo do Dó até o Mi da terceira oitava.

Podemos, então, dizer que a estrutura harmônica é baseada nesse padrão de intervalos, conhecido como escala temperada ou escala cromática. A escala cromática possui doze notas. A décima terceira é chamada oitava, a mesma nota musical da primeira, agora com o dobro da frequência, ou seja, a oitava é o intervalo de altura entre duas notas em que uma delas possui o dobro da frequência da outra. Assim, para construirmos a escala cromática, dividimos o intervalo de oitava, o qual inclui 13 notas musicais, numa progressão geométrica de 13 termos (12 intervalos), criando-se, então, doze intervalos iguais em altura, chamados de semitons. Assim, a frequência de cada nota da escala cromática será $\sqrt[12]{2}$ vezes maior que a sua anterior, definindo, como dissemos acima, uma progressão de razão igual a $\sqrt[12]{2} \sim 1,05946$. Observe que são 12 intervalos iguais em altura e não em variação de frequência, uma vez que o intervalo musical é definido como sendo a razão entre as frequências de duas notas, e não a diferença entre essas frequências, o que subjaz à própria definição da progressão geométrica. A tabela 1 mostra a construção da escala cromática de igual temperamento, iniciando-se no Lá de 220Hz (A_3) e terminando no Lá de 440 Hz (A_4). Ilustra ainda os intervalos, de semitom em semitom, até chegar ao intervalo de oitava.

Nota musical	Símbolo	Termo da P.G. $f_n = 220(\sqrt[12]{2})^{n-1}$	Frequência (Hz)	Nome do Intervalo
Lá	A	$f_1 = 220$	220	Unísono
Lá sustenido/ Si bemol	A#/Bb	$f_2 = 220(\sqrt[12]{2})^1$	233,082	Segunda Menor
Si	B	$f_3 = 220(\sqrt[12]{2})^2$	246,942	Segunda maior
Dó	C	$f_4 = 220(\sqrt[12]{2})^3$	261,626	Terça menor
Dó sustenido/ Ré bemol	C#/Db	$f_5 = 220(\sqrt[12]{2})^4$	277,183	Terça maior
Ré	D	$f_6 = 220(\sqrt[12]{2})^5$	293,665	Quarta justa
Ré sustenido/ Mi bemol	D#/Eb	$f_7 = 220(\sqrt[12]{2})^6$	311,127	Quarta aumentada/ Quinta diminuta
Mi	E	$f_8 = 220(\sqrt[12]{2})^7$	329,628	Quinta justa
Fá	F	$f_9 = 220(\sqrt[12]{2})^8$	349,228	Quinta aumentada/ Sexta menor
Fá sustenido/ Sol bemol	F#/Gb	$f_{10} = 220(\sqrt[12]{2})^9$	369,994	Sexta maior/ Sétima diminuta
Sol	G	$f_{11} = 220(\sqrt[12]{2})^{10}$	391,995	Sétima menor
Sol sustenido/ Lá bemol	G#/Ab	$f_{12} = 220(\sqrt[12]{2})^{11}$	415,305	Sétima maior
Lá	A	$f_{13} = 220(\sqrt[12]{2})^{12}$	440,000	Oitava

Tabela 1. Escala de igual temperamento para a oitava de Lá, iniciando no Lá de 220Hz.

Construída a ideia da escala cromática de doze semitons igualmente temperados, aquela cuja razão entre a frequência de qualquer nota e a frequência da imediatamente anterior é sempre igual a $\sqrt[12]{2}$, podemos seguir em frente, discutindo o porquê da afirmação acima de que a afinação da kalimba é a da escala diatônica maior.

A escala cromática de doze semitons é a base de quase todas as escalas utilizadas na música ocidental. Há um vasto número de escalas, algumas características de determinados estilos musicais, como as pentatônicas do blues e a escala de tons inteiros, por exemplo, e outras de uso bem genérico. Dentre estas, as mais utilizadas são, indubitavelmente, a escala maior e a escala menor natural. Para se ter uma ideia, a grande maioria das músicas comerciais brasileiras são construídas tomando por base essas escalas. Para a escala maior, o padrão de intervalos é “TOM-TOM-SEMITON- TOM-TOM-TOM-SEMITOM” (2-2-1-2-2-2-1), enquanto que, para a escala menor natural, o padrão de intervalos é “TOM-SEMITOM-TOM-TOM-SEMITOM-TOM- TOM” (2-1-2-2-1-2-2). A tabela 2 mostra as notas musicais que compõem as escalas maior e menor natural para a tonalidade de Dó, objeto de utilização na kalimba.

Intervalo	Semitom												
Escala de 12 semitons	C	C#	D	D#	E	F	F#	G	G#	A	A#	B	C
Escala Maior	C		D		E	F		G		A		B	C
Escala Menor	C		D	D#		F		G	G#		A#		C

Tabela 2. Escalas maior e menor natural, derivadas da escala de 12 semitons.

Assim como há 12 notas na escala de 12 semitons, já que a décima terceira é a mesma nota da primeira, podemos, começando em cada uma delas, construir a escala maior nas 12 tonalidades. Os músicos de conservatório estudam as diversas escalas em todas as 12 tonalidades, na medida em que avançam no estudo da música. Contudo, se formos observar as composições populares, perceberemos que algumas dessas tonalidades são pouco usadas. Por exemplo, em se tratando das escalas maiores, a imensa maioria das músicas é composta em C, D, E, F, G ou A, provavelmente por uma questão de praticidade. A tabela 3 apresenta as notas que compõem a escala de 12 semitons nas 12 tonalidades.

	Semitom											
C	C#/Db	D	D#/Eb	E	F	F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb	B	C
C#/Db	D	D#/Eb	E	F	F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb	B	C	C#/Db
D	D#/Eb	E	F	F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb	B	C	C#/Db	D
D#/Eb	E	F	F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb	B	C	C#/Db	D	D#/Eb
E	F	F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb	B	C	C#/Db	D	D#/Eb	E
F	F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb	B	C	C#/Db	D	D#/Eb	E	F
F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb	B	C	C#/Db	D	D#/Eb	E	F	F#/Gb
G	G#/Ab	A	A#/Bb	B	C	C#/Db	D	D#/Eb	E	F	F#/Gb	G
G#/Ab	A	A#/Bb	B	C	C#/Db	D	D#/Eb	E	F	F#/Gb	G	G#/Ab
A	A#/Bb	B	C	C#/Db	D	D#/Eb	E	F	F#/Gb	G	G#/Ab	A
A#/Bb	B	C	C#/Db	D	D#/Eb	E	F	F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb
B	C	C#/Db	D	D#/Eb	E	F	F#/Gb	G	G#/Ab	A	A#/Bb	B

Tabela 3. Escala de 12 semitons (13 notas) nas 12 tonalidades.

Construída a ideia de como se estrutura a música ocidental, tendo suas principais escalas apresentadas no texto, podemos seguir adiante, discutindo especificamente o caso da escala tomada por base na afinação da kalimba.

A tessitura da kalimba

A tabela 4 mostra a escala cromática iniciando-se no “Dó” central da kalimba (C₃ com f=261,626Hz) e encerrando-se no Mi da sétima oitava, E₅, 1.318,510 Hz, que é, por sua vez, a nota mais aguda para a afinação mais comum da kalimba. Nessa, estão presentes todas as notas desde o C₃ até o E₅, de meio em meio tom. Contudo, a última coluna mostra apenas as notas presentes na kalimba.

Nota musical	Símbolo	Frequência (Hz)	Nome do Intervalo	Notas presentes na kalimba
Dó	C	261,626	Uníssonos	C ₃
Dó sustenido/ Ré bemol	C#/Db	277,183	Segunda Menor	
Ré	D	293,665	Segunda maior	D ₃
Ré sustenido/ Mi bemol	D#/Eb	311,127	Terça menor	
Mi	E	329,628	Terça maior	E ₃
Fá	F	349,228	Quarta justa	F ₃
Fá sustenido/ Sol bemol	F#/Gb	369,994	Quarta aumentada/ Quinta diminuta	
Sol	G	391,995	Quinta justa	G ₃
Sol sustenido/ Lá bemol	G#/Ab	415,305	Quinta aumentada/ Sexta menor	
Lá	A	440,000	Sexta maior/ Sétima diminuta	A ₃
Lá sustenido/ Si bemol	A#/Bb	466,164	Sétima menor	
Si	B	493,883	Sétima maior	B ₃
Dó	C	523,251	Oitava	C ₄
Dó sustenido/ Ré bemol	C#/Db	554,365	Segunda Menor	
Ré	D	587,330	Segunda maior	D ₄
Ré sustenido/ Mi bemol	D#/Eb	622,254	Terça menor	
Mi	E	659,255	Terça maior	E ₄
Fá	F	698,456	Quarta justa	F ₄
Fá sustenido/ Sol bemol	F#/Gb	739,989	Quarta aumentada/ Quinta diminuta	
Sol	G	783,991	Quinta justa	G ₄
Sol sustenido/ Lá bemol	G#/Ab	830,609	Quinta aumentada/ Sexta menor	
Lá	A	880,000	Sexta maior/ Sétima diminuta	A ₄
Lá sustenido/ Si bemol	A#/Bb	932,328	Sétima menor	
Si	B	987,767	Sétima maior	B ₄
Dó	C	1046,502	Oitava	C ₅
Dó sustenido/ Ré bemol	C#/Db	1108,731	Segunda Menor	
Ré	D	1174,659	Segunda maior	D ₅
Ré sustenido/ Mi bemol	D#/Eb	1244,508	Terça menor	
Mi	E	1318,510	Terça maior	E ₅

Tabela 4. A escala cromática e as progressões geométricas (fonte: Monteiro Júnior, 2012).

Na primeira aula, faremos a introdução do tema, onde os alunos assistirão a um vídeo sobre a kalimba, seguido do qual serão convidados a realizar uma atividade experimental envolvendo a análise da vibração de uma lâmina de serra, a partir do que serão indagados, por meio de questionário, sobre aspectos ligados à relação entre frequência e comprimento da lâmina, bem como sobre a relação entre amplitude de vibração da lâmina e intensidade do som. Tais atividades consistem em organizadores prévios por meio dos quais pretendemos colocar em cena os conceitos necessários ao entendimento da acústica física e musical relativa à vibração de uma lâmina homogênea ou construí-los, caso ainda não estejam presentes na estrutura cognitiva dos alunos. Aqui estão em cena os conceitos de frequência e altura, bem como a relação entre eles, os conceitos de amplitude e intensidade, assim como a relação entre eles. Após a atividade experimental, introduziremos a equação que relaciona a frequência de vibração de uma lâmina com seu comprimento, tomando, para tanto, todas as outras variáveis constantes, conforme equação 1. Na segunda aula, retomaremos os conceitos acima elencados, agora no contexto da análise física e musical da kalimba. Nesta ocasião, partindo da relação entre altura e frequência, bem como da relação entre frequência e comprimento útil da lâmina, introduziremos o estudo das notas e escalas musicais. Por fim, na terceira aula, avaliaremos o aprendizado dos estudantes por meio de uma atividade organizadora dos conceitos e habilidades desenvolvidos.

Aula 1:

Passo 1: Definir o tema a ser trabalhado na UEPS, identificando aspectos procedimentais, tais como os aceitos no contexto da disciplina.

Atividade 1 (10 minutos): apresentação do tema valorizando o protagonismo dos estudantes durante toda a atividade, que terá um encaminhamento experimental e lúdico, envolvendo física e música, evidenciando que se trata do fechamento do estudo que está sendo feito sobre ondas mecânicas e som. Neste momento, é importante evidenciar que o sucesso do percurso a ser trilhado dependerá, efetivamente, do foco que eles emprestem às atividades desenvolvidas e que a grande novidade é que eles sairão, ao final, com algum entendimento de que há profícuas relações entre física e música.

Passo 2: Aplicação de um questionário inicial, buscando identificar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca do tema.

Passo 3: Criar e/ou propor situações que possam oportunizar, a partir da identificação dos conhecimentos prévios relevantes da estrutura cognitiva dos alunos, o passo inicial para obtenção de uma aprendizagem significativa.

Atividade 2 (20 minutos): Na sequência, o professor aplicará o questionário inicial e, em seguida, convidará os alunos para assistirem, em conjunto, a um vídeo do Youtube sobre a kalimba (<https://www.youtube.com/watch?v=DPmQv2Pp8nk>). Após o vídeo, mediar um debate sobre o que eles acharem interessante, procurando relevar se observaram detalhes da confecção da kalimba (presença das lâminas, da caixa de ressonância e dos orifícios), bem como da forma como o som é produzido no instrumento. Neste contexto, valorizar, caso apareça nas falas dos alunos, os conceitos de frequência, altura, intensidade, volume, ressonância, nota musical, escala, dentre outros pertinentes.

Atividade 3 (20 minutos): aplicação da atividade experimental 1 em grupo (a quantidade de alunos por grupo fica a critério do professor) sobre a vibração de uma lâmina de serra, guiada por um procedimento de laboratório a ser-lhes entregue no início da atividade, com passos a serem executados e perguntas a serem respondidas, materializando-se, aqui, o questionário dos conhecimentos prévios.

Aula 2:

Passo 4: Uma exposição dialogada do tema que compõe a unidade de ensino da acústica de forma a apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em consideração a diferenciação progressiva.

Passo 5: Retomar aspectos mais gerais sobre o tema em conjunto com a turma para sintetizar os conceitos e equações aprendidos, culminando no que seria um construto de saberes sobre todos os tópicos abordados, propondo o conhecimento de um maior nível de complexidade, colocando novos exemplos e destacando semelhanças e diferenças em relação à primeira apresentação.

Passo 6: Concluir a unidade retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, buscando a reconciliação integrativa.

Atividade 4 (25 minutos): a partir a socialização das respostas da atividade experimental, introduzir a equação matemática que descreve o modo fundamental de vibração da lâmina em função do seu comprimento, discutindo os conceitos de frequência e altura, em função do comprimento da lâmina de serra. É importante ressaltar que para esta análise da relação entre a frequência/altura e o comprimento da lâmina, toma-se, como condição, que a lâmina é homogênea e que as outras variáveis presentes na relação matemática permanecem constantes. Partindo dessa relação matemática, podemos observar que a frequência varia com o inverso do quadrado do comprimento da lâmina, ou seja, $f_1 \rightarrow \frac{1}{L^2}$.

Para esta apresentação, é necessário que o professor se aproprie da discussão presente no tópico “**Matemática e música no contexto da afinação da kalimba**“, acima descrito, e prepare a apresentação da forma que melhor lhe convier.

Atividade 5 (25 minutos): uma vez clara a dependência da frequência com relação ao comprimento da lâmina, podemos partir para o debate em torno da escala da kalimba. Neste momento, o professor apresenta, primeiro, a construção da escala cromática de 12 semitons, subjacente à qual está a progressão geométrica cuja razão é $^{12}\sqrt{2}$, oportunidade em que o conceito de intervalo deve ser discutido, evidenciando os intervalos de quarta, quinta e oitava. Na sequência, apresentar o padrão de intervalos que dá origem às escalas maior e menor, evidenciando que são derivadas da escala de 12 semitons. Para esta apresentação, é necessário que o professor se aproprie da discussão presente dos tópicos “**Escala de igual temperamento, as progressões geométricas e o número da música**” e “**A tessitura da kalimba**”, acima descritos, e prepare a apresentação da forma que melhor lhe convier.

Aula 3: Avaliação

Passo 7: Realizar a avaliação da aprendizagem a partir da UEPS.

Passo 8: O desempenho dos alunos deverá fornecer evidências de aprendizagem significativa é progressiva não só no campo conceitual e progressivo, dando a ênfase em evidências, e não em comportamentos finais.

Atividade 6 (50 minutos): aplicação da atividade experimental 2 em grupo, na qual os estudantes serão convidados a medirem o comprimento útil das 17 lâminas da kalimba, anotando os valores na ficha de atividade. Na sequência, os estudantes irão calcular os valores, tomando por base o valor medido para a lâmina de maior comprimento (dó) e calculando os comprimentos das outras 16 lâminas, utilizando a razão $1,059 \approx ^{12}\sqrt{2}$. Após esta etapa, os estudantes responderão às perguntas presentes na ficha da atividade experimental 2.

Tais perguntas possuem o caráter de informar a respeito da aprendizagem que eles tiveram em torno dos conceitos da acústica física e da acústica musical trabalhados durante a aplicação da UEPS. Tal “feedback” servirá também para o professor planejar desdobramentos futuros a fim de aprofundar as relações entre física e música, aumentando o campo perceptivo dos estudantes no tema em questão.

QUESTIONÁRIO INICIAL

1º) Certamente, vocês estão habituados a ouvirem música. Música dá prazer e é diversão. Vamos pensar sobre os cantores que vocês gostam de ouvir. Pense num cantore, também, numa cantora de sua preferência. Existe diferença entre suas vozes? Quais? A que você atribuiria tal diferença?

2º) Vamos agora pensar em dois instrumentos musicais bem conhecidos na música popular, quais sejam, a Guitarra e o Contrabaixo. Ambos possuem cordas. Há diferença entre elas? Há diferença entre os sons produzidos por estes instrumentos? A que se deve tal diferença?



GUITARRA



CONTRA BAIXO

3º) Vamos agora lembrar de dois instrumentos de percussão muito presentes no nosso Maracatu, a Alfaia e o Tarol. Há diferença entre eles? Há diferença entre os sons produzidos por esses instrumentos? A que se deve tal diferença?



TAROL



ALFAIA

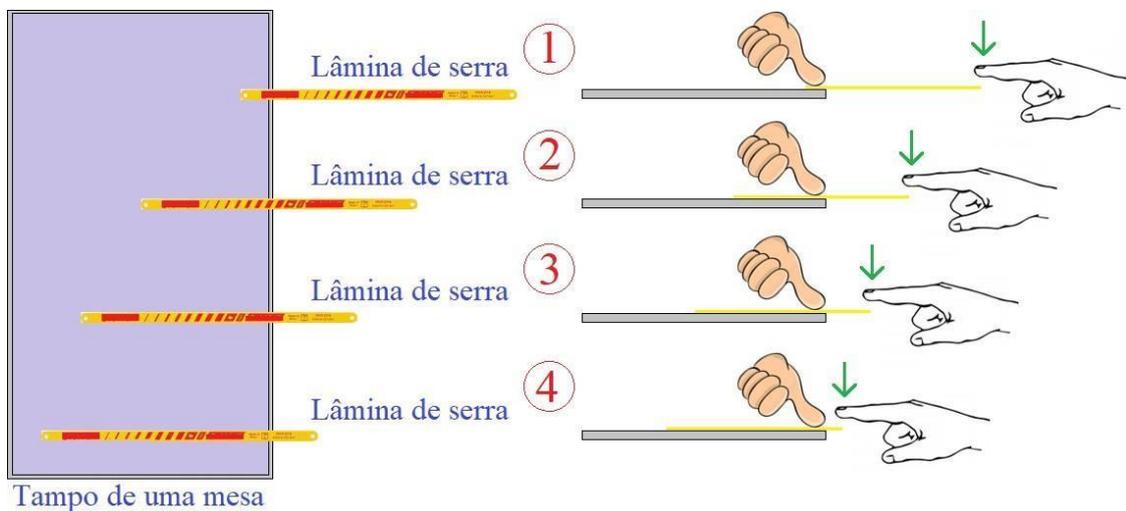
4º) Há um instrumento que não é muito popular, mas que está presente em muitas bandas marciais que é a Lira. A Lira é feita de um conjunto de hastes (lâminas). Há diferença entre elas? Há diferença no som produzido por cada uma delas?



LIRA

ATIVIDADE EXPERIMENTAL 1

Nesta atividade, iremos observar como se comporta uma lâmina de serra, posta para vibrar na borda do tampo de uma mesa ou de uma carteira escolar. De posse da lâmina de serra, disponha-a sobre a borda do tampo, conforme mostra a figura abaixo. De acordo com a figura, são quatro situações. Na primeira, a lâmina fica quase toda fora do tampo, ou seja, o comprimento útil é quase o comprimento total da lâmina. Na segunda, apenas a metade da lâmina é posta para vibrar. Na terceira, um quarto da lâmina, enquanto que na quarta temos um oitavo do comprimento da lâmina.



Procedimentos:

1. Prenda a lâmina com o polegar, deixando-a quase toda fora do tampo, conforme mostra a situação ① da figura 7. Em seguida, com o dedo indicador da outra mão, desloque a lâmina da posição de equilíbrio e a libere para oscilar. Observe a frequência com que ela vibra. Você escuta algum som?
2. Prenda a lâmina com o polegar, deixando a metade do seu comprimento fora do tampo, conforme mostra a situação ② da figura 7. Em seguida, com o dedo indicador da outra mão, desloque a lâmina da posição de equilíbrio e a libere para oscilar. Observe a frequência com que ela vibra. Você escuta algum som?

3. Prenda a lâmina com o polegar, deixando um quarto do seu comprimento fora do tampo, conforme mostra a situação ③ da figura 7. Em seguida, com o dedo indicador da outra mão, desloque a lâmina da posição de equilíbrio e a libere para oscilar. Observe a frequência com que ela vibra. Você escuta algum som?

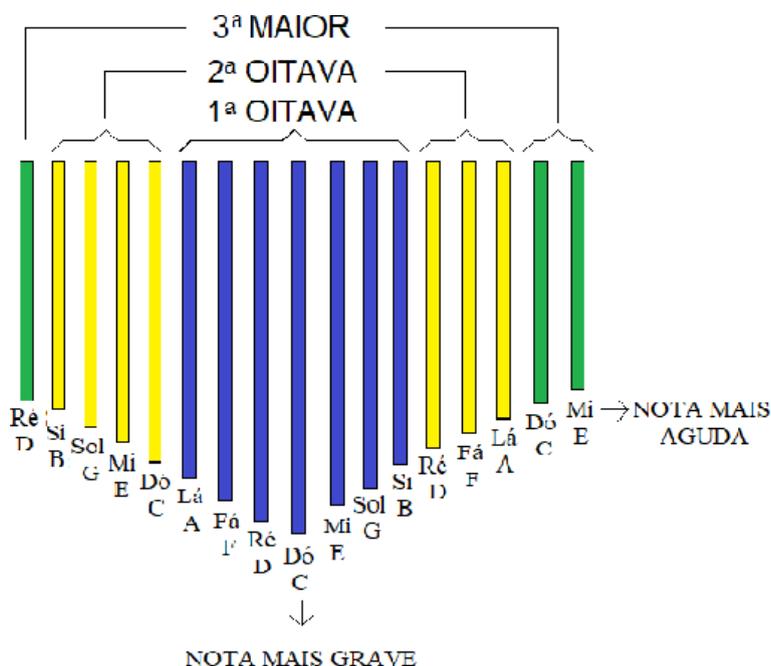
4. Prenda a lâmina com o polegar, deixando um oitavo do seu comprimento fora do tampo, conforme mostra a situação ④ da figura 7. Em seguida, com o dedo indicador da outra mão, desloque a lâmina da posição de equilíbrio e a libere para oscilar. Observe a frequência com que ela vibra. Você escuta algum som?

Conclusões:

1. O que vocês concluíram a respeito da frequência de oscilação da lâmina?
2. O que vocês concluíram a respeito da emissão de som?

ATIVIDADE EXPERIMENTAL 2

Nesta atividade, consolidaremos os conhecimentos que foram aprendidos durante as atividades anteriores. A kalimba que vocês irão analisar possui 17 lâminas, afinadas conforme mostra a figura a seguir. Cada uma dessas lâminas possui um comprimento útil adequado para produzir a frequência correta e, conseqüentemente, a nota musical correta. Para tanto, elas precisam, a partir da lâmina mais comprida (Dó mais grave), diminuir na razão inversa com que as frequências aumentam.



Procedimentos:

1. Meçam, com o auxílio de uma régua, o comprimento útil de cada uma das 17 lâminas da kalimba, anotando os valores na tabela abaixo.

2. Após o registro dos comprimentos das 17 lâminas na tabela abaixo, calculem os valores, tomando por base o valor medido para a lâmina de maior comprimento (dó), os comprimentos das outras 16 lâminas, que são os comprimentos corretos, para que ela esteja afinada, utilizando, para tanto, a razão $1,059 \approx \sqrt[12]{2}$. Lembrem-se que, como estamos calculando o comprimento da maior para a menor, a razão da progressão geométrica ($1,059 \approx \sqrt[12]{2}$) deve figurar o quociente.

Nota musical	Comprimento medido (mm)	Comprimento calculado (mm)	Erro
Dó			
Ré			
Mi			
Fá			
Sol			
Lá			
Si			
Dó			
Ré			
Mi			
Fá			
Sol			
Lá			
Si			
Dó			
Ré			
Mi			

Conclusões:

1. Comparando os valores medidos com os valores calculados, o que vocês poderiam concluir com respeito à afinação da kalimba analisada?
2. Parando um pouco para pensar em tudo que foi vivenciado hoje, o que vocês aprenderam das atividades desenvolvidas em grupo e com o professor, e qual foi o aprendizado que vocês tiveram?
3. Que relações vocês conseguiram perceber entre as comparações da guitarra com o contrabaixo, do Tarol com a Alfaia e da Lira com a Kalimba?

Apêndice B - Respostas do questionário e das atividades experimentais 1 e 2

Grupo I

1*) Certamente vocês estão habituados a ouvir música. Música dá prazer e é diversão. Vamos pensar sobre os cantores que vocês gostam de ouvir. Pense num cantor e, também, numa cantora de sua preferência. Existe diferença entre suas vozes? Quais? A que você atribuiria tal diferença?

teto e gabriela Rocha. O teto tem uma voz mais grave e usa contralto. Gabriela Rocha, da Banda Vagabunda, tem uma voz mais aguda e usa soprano, consegue cantar muitas notas e também gritar.

2*) Vamos agora pensar em dois instrumentos musicais bem conhecidos na música popular, quais sejam a Guitarra e o Contrabaixo. Ambos possuem cordas. Há diferença entre elas? Há diferença entre os sons produzidos por estes instrumentos? a que se deve tal diferença?



GUITARRA **CONTRA BAIXO**

sim, com certeza, o som do contrabaixo possui um som mais agudo, possui cordas mais finas controlando para isso o contrabaixo já possui um som mais grave, possui suas cordas mais grossas controlando para isso, isso é a diferença.

3*) Vamos agora lembrar de dois instrumentos de percussão muito presentes no nosso Maracatu, quais sejam a Alfaia e o Tarol. Há diferença entre eles? Há diferença entre os sons produzidos por estes instrumentos? a que se deve tal diferença?



TAROL **ALFAIA**

sim, a diferença é que o tarol é um som mais agudo e leve diferente do alfaia que é um som mais grave.

4*) Há um instrumento que não é muito popular, mas que está presente em muitas bandas marciais que é a Lira. O xilofone é feito de um conjunto de hastes (lâminas). Há diferença entre elas? Há diferença no som produzido por cada uma delas?



LIRA

sim, porque a lora das lâminas que são finas e mais aguda e a lora das lâminas grossas em duas lâminas e são as mais grossas em diâmetro e distância e o tamanho das lâminas.

3. Preencha a lâmina com o polegar, deixando um quarto do seu comprimento fora do tempo, conforme mostra a situação (I) da figura 7. Em seguida, com o dedo indicador da outra mão, desloque a lâmina da posição de equilíbrio e a libere para oscilar. Observe a frequência com que ela vibra. Você ouviu algum som?

4. Preencha a lâmina com o polegar, deixando um oitavo do seu comprimento fora do tempo, conforme mostra a situação (II) da figura 7. Em seguida, com o dedo indicador da outra mão, desloque a lâmina da posição de equilíbrio e a libere para oscilar. Observe a frequência com que ela vibra. Você ouviu algum som?

Conclua:

1. O que vocês concluíram a respeito da frequência de oscilação da lâmina?

afirmação que quanto mais fora do tempo da lâmina, maior o som, porém, quanto mais fora do tempo, mais agudo o som, pois a lâmina vibra com uma frequência maior.

2. O que vocês concluíram a respeito da emissão de som?

que a lâmina vibra e emite um som de frequência diferente, dependendo do tempo de vibração da lâmina, de acordo com a frequência de vibração da lâmina, que é a sua frequência.

Nota musical	Comprimento medido (mm)	Comprimento calculado (mm)	Eixo
Do	5,0	5,0	0
Re	4,8	4,82	0,02
Mi	4,6	4,45	0,15
Fa	4,5	4,20	0,3
Sol	4,3	3,86	0,44
La	4,0	3,43	0,57
Si	3,7	3,02	0,68
Do	3,6	2,72	0,88
Re			
Mi			
Fa			
Sol			
La			
Si			
Do			
Re			
Mi			

Conclua:

1. Comparando os valores medidos com os valores calculados, o que você poderia concluir com respeito à utilização da lâmina analisada?

concluímos que a diferença está irregular da medida, desigual.

2. Partindo um pouco para pensar em tudo que foi vivenciado hoje, o que vocês acharam das atividades desenvolvidas em grupo e com o professor, e qual foi o aprendizado que vocês tiveram?

foi aprender a trabalhar em grupo e a lidar com as diferenças, a lidar com as diferenças e a lidar com as diferenças, a lidar com as diferenças e a lidar com as diferenças.

3. Que relações vocês conseguiram perceber entre as comparações da guitarra com o contrabaixo, do Tarol com a Alfaia e da Lira com a Kalimba?

sim, que em todos os instrumentos, quando se toca, o som é produzido por meio da vibração das lâminas, que é a sua frequência.

Grupo II

QUESTIONÁRIO INICIAL

1) Certamente vocês estão habituados a ouvir música. Música dá prazer e é diversão. Vamos pensar sobre os cantores que vocês gostam de ouvir. Pense num cantor e, também, numa cantora de sua preferência. Existe diferença entre suas vozes? Quais? A que você atribuiria tal diferença?

Mariah Carey e Janis Joplin. Sim, a voz dela era doce e com um tom suave, foi a voz dele é grossa e com um tom forte. Escutando as músicas delas, dá pra atribuir a diferença.

2) Vamos agora pensar em dois instrumentos musicais bem conhecidos na música popular, quais sejam a Guitarra e o Contrabaixo. Ambos possuem cordas. Há diferença entre elas? Há diferença entre os sons produzidos por estes instrumentos? a que se deve tal diferença?



GUITARRA



CONTRA BAIXO

Sim, sim. A contra baixo é grave e tem as cordas grossas, foi a guitarra tem o som agudo e as cordas mais finas.

3) Vamos agora lembrar de dois instrumentos de percussão muito presentes no nosso momento. Alfaia e o Tarol. Há diferença entre eles? Há diferença entre os sons produzidos por estes instrumentos? a que se deve tal diferença?



TAROL



ALFAIA

Sim, sim. O tarol tem o som mais aberto e a alfaia tem o som abafado.

4) Há um instrumento que não é muito popular, mas que está presente em muitas bandas marciais que é a Lira. O xilofone é feito de um conjunto de hastes (lâminas). Há diferença entre elas? Há diferença no som produzido por cada uma delas?





LIRA

Sim, cada tipo possui um som diferente, assim dando tanta coisa diferentes músicas.

3. Prenda a lâmina com o polegar, deixando um quarto do seu comprimento fora do tempo, conforme mostra a situação (a) da figura 7. Em seguida, com o dedo indicador da outra mão, desloque a lâmina da posição de equilíbrio e a libere para oscilar. Observe a frequência com que ela vibra. Você escuta algum som?

4. Prenda a lâmina com o polegar, deixando um oitavo do seu comprimento fora do tempo, conforme mostra a situação (b) da figura 7. Em seguida, com o dedo indicador da outra mão, desloque a lâmina da posição de equilíbrio e a libere para oscilar. Observe a frequência com que ela vibra. Você escuta algum som?

Conclua:

1. O que vocês concluíram a respeito da frequência de oscilação da lâmina?
Quanto mais a lâmina está fora de equilíbrio, mais a sua vibração é maior.

2. O que vocês concluíram a respeito da emissão de som?
Quanto mais fora de tempo, o som da lâmina é maior, quando colocamos a lâmina mais fria dentro do tempo o som é mais agudo.

Nota musical	Comprimento medido (mm)	Comprimento calculado (mm)	Erro
Dó	5,14	5,1	
Ré	4,2	4,1	0,11
Mi	3,5	3,5	0,00
Fá	3,2	3,29	0,09
Sol	3,1	3,05	0,05
Si	3,7	3,8	0,13
Dó	3,5	3,41	0,09
Ré			
Mi			
Fá			
Sol			
La			
Si			
Dó			
Ré			
Mi			

Conclua:

1. Comparando os valores medidos com os valores calculados, o que você poderia concluir com respeito à afinação da kalimba analisada?
Seu dia não está muito afinado.

2. Parando um pouco para pensar em tudo que foi vivenciado hoje, o que vocês acharam das atividades desenvolvidas em grupo e com o professor, e qual foi o aprendizado que vocês tiveram?
Muito gostamos bastante e foi muito proveitosa. Dependendo a manuseio a kalimba e talvez fazer alguma.

3. Que relações vocês conseguiram perceber entre as comparações da guitarra com o contra-baixo, do Tarol com a Alfaia e da Lira com a Kalimba?
Podem ser um som diferente e uma forma diferente de ser manuseada.

Grupo III

QUESTIONÁRIO INICIAL

1*) Certamente vocês estão habituados a ouvir música. Música dá prazer e é diversão. Vamos pensar sobre os cantores que vocês gostam de ouvir. Pense num cantor e, também, numa cantora de sua preferência. Existe diferença entre suas vozes? Quais? A que você atribuiria tal diferença?

Luam Sambama e Jaílma. A Jaílma tem um voz mais aguda e o Luam Sambama mais grave.

2*) Vamos agora pensar em dois instrumentos musicais bem conhecidos na música popular, quais sejam a Guitarra e o Contrabaixo. Ambos possuem cordas. Há diferença entre elas? Há diferença entre os sons produzidos por estes instrumentos? a que se deve tal diferença?



GUITARRA



CONTRA BAIXO

Tem mais agudo e mais grave.

Tem um som mais agudo e um som mais grave.

3*) Vamos agora lembrar de dois instrumentos de percussão muito presentes no povo brasileiro, quais sejam a Alfaia e o Tarol. Há diferença entre eles? Há diferença entre os sons produzidos por estes instrumentos? a que se deve tal diferença?



TAROL



ALFAIA

Tem diferença, assim! menor e de plat maior e de coro deo e juro e madeira.

tem e mais agudo e mais grave do

4*) Há um instrumento que não é muito popular, mas que está presente em muitas bandas marciais que é a Lira. O xilofone é feito de um conjunto de hastes (lâminas). Há diferença entre elas? Há diferença no som produzido por cada uma delas?



LIRA



Sim, o lado esquerda e som e mais grave e o direita e agudo

Conclusões:

1. Comparando os valores medidos com os valores calculados, o que você poderia concluir com respeito à afinação da kalimba analisada?

Por causa de milímetros e som compasso ficou diferente

2. Parando um pouco para pensar em tudo que foi vivenciado hoje, o que vocês acharam das atividades desenvolvidas em grupo e com o professor, e qual foi o aprendizado que vocês tiveram?

achamos bem, a diferença de instrumentos

3. Que relações vocês conseguiram perceber entre as comparações da guitarra com o contra-baixo, do Tarol com a Alfaia e da Lira com a Kalimba?

elas fazem sons muito agudo e grave

Nota musical	Comprimento medido (mm)	Comprimento calculado (mm)	Erro
Dó	5,1	5,1	—
Ré	4,9	4,81	0,08
Mi	4,6	4,54	0,06
Fá	4,4	4,28	0,11
Sol	4,1	4,05	0,05
Lá	3,9	3,82	0,08
Si	3,6	3,61	-0,01
Dó	3,5	3,48	0,02
Ré			
Mi			
Fá			
Sol			
Lá			
Si			
Dó			
Ré			
Mi			

0,1 cm

Conclusões:

1. Comparando os valores medidos com os valores calculados, o que você poderia concluir com respeito à afinação da kalimba analisada?

Por causa de milímetros e som compasso ficou diferente

2. Parando um pouco para pensar em tudo que foi vivenciado hoje, o que vocês acharam das atividades desenvolvidas em grupo e com o professor, e qual foi o aprendizado que vocês tiveram?

achamos bem, a diferença de instrumentos

3. Que relações vocês conseguiram perceber entre as comparações da guitarra com o contra-baixo, do Tarol com a Alfaia e da Lira com a Kalimba?

elas fazem sons muito agudo e grave

Grupo IV

QUESTIONÁRIO INICIAL

1) Certamente vocês estão habituados a ouvir música. Música dá prazer e é diversão. Vamos pensar sobre os cantores que vocês gostam de ouvir. Pense num cantor e, também, numa cantora de sua preferência. Existe diferença entre suas vozes? Quais? A que você atribuiria tal diferença?

CRICHI, NA VOZ DA AVAL, SOU GENTE, MARILIA
SIM
CRICHI NA VOZ GENTE
NA VOZ DA AVAL NA VOZ
TIPO NA VOZ
DOAS GENTE GENTE
MARILIA NA VOZ
A DIFERENÇA NA VOZ

2) Vamos agora pensar em dois instrumentos musicais bem conhecidos na música popular, quais sejam a Guitarra e o Contrabaixo. Ambos possuem cordas. Há diferença entre elas? Há diferença entre os sons produzidos por estes instrumentos? a que se deve tal diferença?



GUITARRA



CONTRA BAIXO

SIM, A DIFERENÇA ENTRE BAIXO E GUITARRA É QUE O BAIXO TEM UM
SOM MAIS GROSSO, POR ISSO É COMUM SER USADO PARA MARCAR
EM O BASSO DA MÚSICA.
A GUITARRA É MAIS DO QUE O BAIXO E TEM CORDAS A MAIS TENSÃO.

3) Vamos agora lembrar de dois instrumentos de percussão muito presentes no nosso Maracatu, quais sejam a Alfaia e o Tarol. Há diferença entre eles? Há diferença entre os sons produzidos por estes instrumentos? a que se deve tal diferença?



TAROL



ALFAIA

SIM
TAROL FAZ UM SOM AGUDO
ALFAIA FAZ UM SOM GROSSO

4) Há um instrumento que não é muito popular, mas que está presente em muitas bandas marciais que é a Lira. O xilofone é feito de um conjunto de hastes (lâminas). Há diferença entre elas? Há diferença no som produzido por cada uma delas?



LIRA



SIM
LIRA É UM INSTRUMENTO DE CORDAS CONHECIDO PELA SUA VASTA UTILIZAÇÃO
DURANTE A MARCHA.

3. Prenda a lâmina com o pégote, deixando um quarto do seu comprimento fora do tempo, conforme mostra a situação (a) da figura 7. Em seguida, com o dedo indicador da outra mão, desloque a lâmina da posição de equilíbrio e libere para oscilar. Observe a frequência com que ela vibra. Você escuta algum som?

4. Prenda a lâmina com o pégote, deixando um oitavo do seu comprimento fora do tempo, conforme mostra a situação (b) da figura 7. Em seguida, com o dedo indicador da outra mão, desloque a lâmina da posição de equilíbrio e libere para oscilar. Observe a frequência com que ela vibra. Você escuta algum som?

Conclusões:

1. O que vocês concluíram a respeito da frequência de oscilação da lâmina?

QUANTO MAIS CURTA, MAIS RÁPIDO É O PERÍODO DA OSCILAÇÃO

2. O que vocês concluíram a respeito da emissão de som?

NA MARCHA DA LIRA, MARCHA O SOM DA LIRA TEM UM SOM GROSSO

LÂMINAS DA LIRA

70

Nota musical	Comprimento medido (mm)	Comprimento calculado (mm)	Erro
Dá	5,0	5,0	0
Ré	4,9	4,72	0,18
Mi	4,7	4,45	0,25
Fá	4,5	4,20	0,3
Sol	4,1	3,96	0,14
Lá	4,5	3,93	0,57
Si	3,3	3,52	0,22
Dó	3,3	3,52	0,22
Ré			
Mi			
Fá			
Sol			
Lá			
Si			
Dó			
Ré			
Mi			

Conclusões:

1. Comparando os valores medidos com os valores calculados, o que você poderia concluir com respeito à afinação da kalimba analisada?

NÃO HÁ DIFERENÇA, POR ISSO

2. Parando um pouco para pensar em tudo que foi vivenciado hoje, o que vocês acharam das atividades desenvolvidas em grupo e com o professor, e qual foi o aprendizado que vocês tiveram?

APRENDIZO A DIFERENÇA ENTRE GUITARRA E CONTRA BAIXO
A DIFERENÇA ENTRE TAROL E ALFAIA, SOBRE A LIRA

3. Que relações vocês conseguiram perceber entre as comparações da guitarra com o contra-baixo, do Tarol com a Alfaia e da Lira com a Kalimba?

A DIFERENÇA ENTRE BAIXO E GUITARRA É QUE O BAIXO TEM UM SOM MAIS GROSSO, POR ISSO É COMUM SER USADO PARA MARCAR EM O BASSO DA MÚSICA. O TAROL É UM INSTRUMENTO DE CORDAS CONHECIDO PELA SUA VASTA UTILIZAÇÃO DURANTE A MARCHA.

