



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais
perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da
física ondulatória.**

André Luís Miranda de Barcellos Coelho

Brasília – UnB

2016



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais
perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da
física ondulatória.**

André Luís Miranda de Barcellos Coelho

Dissertação de Mestrado apresentada à Banca Examinadora da Universidade de Brasília (UnB), como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física, sob a orientação do professor Dr. Antony Marco Mota Polito.

Brasília – UnB

2016

FOLHA DE APROVAÇÃO

André Luís Miranda de Barcellos Coelho

Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da física ondulatória.

Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física – Área de Concentração: Ensino de Física, pelo Programa de Mestrado Nacional em Pesquisa e Ensino de Física (MNPEF), polo Universidade de Brasília.

Aprovada em 19/08/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antony Marco Mota Polito (Presidente)

Prof. Dr. Olavo Leopoldino da Silva Filho (Membro interno vinculado ao programa – IF UnB)

Prof. Dr. Marco Cezar Barbosa Fernandes (Membro externo não vinculado ao programa – IF UnB)

Prof.Dr^a. Maria de Fátima da Silva Verdeaux (Membro Suplente – IF UnB)

FICHA CATALOGRÁFICA

COELHO, André Luís de Miranda de Barcellos.

Aplicação do monocórdio e o uso de elementos musicais perceptuais como estruturantes para o ensino de conceitos da física ondulatória/ UnB, Brasília, 2016.

161 P.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Instituto de Física.

Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física.

1. Física Ondulatória. 2. Música e Física. 3. Aprendizagem Significativa. 4. Comprimento de Onda. 5. Frequência de Oscilação. 6. Período de Oscilação. 7. Velocidade de propagação. 8. Monocórdio. 9. Laboratório de Física.

AGRADECIMENTOS

Ao meu querido orientador Antony Marco Mota Polito, pela incrível oportunidade de aprendizado a cada encontro. Pela paciência de guiar uma pessoa tão neófito e pela competência de fazê-lo tão bem.

Aos meus pais que sempre me incentivaram a prosseguir na carreira acadêmica e pelo amor incondicional que sempre demonstraram ter.

A minha amada esposa Carolina Rodrigues de Barcellos Nascimento, pela insubstituível companhia que há oito anos preenche minha vida de significado e realização.

Aos meus colegas e amigos do MNPEF, especialmente ao Cézár, Fábio e Samara que foram verdadeiros companheiros nessa empreitada. Pelas horas dedicadas às profundas reflexões sobre nossa prática docente e pelas outras tantas dedicadas a boas risadas.

Aos alunos participantes desse projeto, pela disponibilidade e receptividade ao que foi proposto.

Aos meus atuais e futuros alunos, por me darem a oportunidade de reflexão diária e a motivação necessária para seguir me aperfeiçoando.

A Universidade de Brasília e a Sociedade Brasileira de Física pela oportunidade de aprimoramento e contato com professores de tão notável saber.

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Referencial didático-pedagógico	17
2.1.1 Subsúncios e suas relações com os conceitos musicais e físicos	23
2.2 O modelo físico/musical	25
2.3 Estudos anteriores.....	29
CAPÍTULO 3: DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	35
3.1 Sequência de aprendizagem	35
3.2 Materiais didáticos produzidos	38
3.3 Ferramentas da internet.....	40
3.4 Monocórdio	41
CAPÍTULO 4: APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	44
4.1 Metodologia.....	44
4.2 Objetivos e hipótese de trabalho	46
4.3 Relato de aplicação.....	47
4.3.1 Aula 1: Teste prévio.....	47
4.3.2 Aula 2: Aula expositiva	56
4.3.3 Aula 3: Aula expositiva	63
4.3.4 Aula 4: Prática experimental	66
4.3.5 Aula 5: Discussão dos resultados e da experiência no laboratório	70
4.3.6 Aula 6: Correção das atividades de casa	73
4.3.7 Aula 7: Teste final	73

CAPÍTULO 5: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	75
5.1 Análise do teste prévio.....	75
5.2 Análises das aulas expositivas dois e três	77
5.3 Análises da prática experimental	79
5.4 Análise do teste final	95
5.5 Análises gerais sobre o projeto.....	100
CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
APÊNDICE ÚNICO: PRODUTO EDUCACIONAL.....	115
A1. Teste prévio.....	115
A2. Exercícios que versam sobre cálculos simples envolvendo frequência, período e o conceito de ondas	122
A3. Texto preparatório para o experimento.....	126
A4. Roteiro experimental.....	133
A5. Teste final	140
A6. Pesquisa de satisfação.....	144
A7. Materiais e detalhes de construção do monocórdio.....	146
ANEXO	150

RESUMO

Nesse trabalho, apresentamos uma proposta de sequência didática para o ensino de conceitos básicos de física ondulatória para turmas de segundo ano do Ensino médio. Partimos dos elementos perceptuais relacionados com os conceitos musicais de altura, de consonância e de dissonância de sons os quais, tendo sido identificados como subsunçores, forneceram os alicerces sobre os quais desenvolvemos os conceitos físicos abstratos de comprimento de onda, frequência de oscilação, período de oscilação e velocidade de propagação de uma onda. Toda a sequência se articula em torno da utilização, no laboratório de física, de um monocórdio, construído com materiais de baixo custo, cuja introdução foi realizada a partir do funcionamento de um violão. A atividade experimental com o monocórdio cumpriu o papel de estrutura integradora na medida em que conduziu o aluno a verificar a validade da equação de Taylor, que relaciona a velocidade de propagação de uma onda com a densidade e o comprimento da corda. Observamos, a partir dos resultados da aplicação da sequência didática, que, ao se utilizar conceitos musicais como elemento estruturante na construção de conceitos físicos abstratos, os alunos demonstram resultados mais satisfatórios no que se refere à aprendizagem significativa, além de demonstrar maior motivação no aprendizado.

Palavras-chave: Física Ondulatória, Música e Física, Aprendizagem Significativa, Comprimento de Onda, Frequência de Oscilação, Período de Oscilação, Velocidade de Propagação, Monocórdio, Laboratório de Física.

ABSTRACT

In this work, we present a proposal for a didactic sequence for teaching basic concepts of wave physics for second year high school classes. We start from the perceptual elements related to the musical concepts of pitch, consonance and dissonance of sounds. These elements, once having been identified as subsumers, provided the foundation upon which we developed the abstract physical concepts of wavelength, frequency of oscillation, period of oscillation and speed of propagation of a wave. The entire sequence hinges on the use, in the physics lab, of a monochord, built with low-cost materials, whose introduction was done based upon the operation of a guitar. The experimental activity with the monochord functioned as integrative structure inasmuch led the students to check the validity of the Taylor equation, which relates the speed of propagation of a wave with the density and the length of the chord. We observed, from the results of the application of the didactic sequence, that use musical concepts as a structuring element in the construction of abstract physical concepts, students demonstrate satisfactory results with regard to meaningful learning, in addition to demonstrate greater motivation for learning.

Keywords: Wave physics, Music and physics, Meaningful learning, Wavelength, Oscillation frequency, Oscillation period, Velocity of propagation, Monochord, Physics Laboratory.

Capítulo 1

Introdução

Historicamente, o ensino médio no Brasil foi, até pelo menos meados da década de 80, um segmento elitista e estruturado para cumprir o papel de mera transição para o nível superior. Além disso, o alto índice de reprovação e evasão escolar no ensino fundamental impedia o crescimento da escola média. As políticas públicas destinadas exclusivamente a esse segmento só foram implementadas na década de 90 e, aliadas ao esforço de democratizar o acesso ao ensino fundamental, culminaram na expansão vertiginosa do ensino médio no Brasil (CASTRO, 2005). Segundo dados do MEC/INEP, em 1991 havia 3.772.698 de alunos matriculados. Este número cresceu para 8.710.584 em 2002. Segundo Castro, esse crescimento pode ser explicado pelas seguintes razões:

1. Pressão do mercado de trabalho, que passou a exigir o diploma de ensino médio para diversos cargos.
2. A melhoria do acesso e da aprovação, no ensino Fundamental.
3. À ênfase em programas de combate a repetência e melhoria do fluxo escolar.
4. O Exame Nacional do Ensino médio – ENEM, implantado a partir de 1998.

Com essa expansão surgem, porém, alguns desafios que até hoje não foram resolvidos completamente, especialmente em sala de aula. Os professores não estavam preparados para um alunato tão heterogêneo, não sabiam lidar com alunos com baixa instrução, baixa renda e diversas outras condições que outrora não figuravam nas classes do ensino médio. A formação dos professores foi obrigada a progressivamente se adequar a essa nova realidade, mas, talvez pelo fato da reforma ser relativamente recente, ainda hoje há problemas nos cursos superiores de licenciatura.

De toda forma, hoje podemos dizer que ainda temos um ensino médio em formação. Por um lado, as políticas públicas das últimas duas décadas que buscavam a democratização do acesso a esse segmento foram bem-sucedidas e atualmente há um esforço razoável por parte das instituições de ensino objetivando a melhoria da qualidade do serviço prestado. Por outro lado há uma evidente dificuldade de articular os esforços das diferentes esferas envolvidas no problema, especialmente ao implementar, de fato, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) em sala de aula (RICARDO, 2002).

Com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), de dezembro de 1996, o governo federal investiu esforços para caracterizar o ensino médio como etapa final da formação básica, tendo como objetivo a consolidação da formação geral do estudante. Para contribuir com essa reforma foram elaborados os PCN, em 1999. Neles está previsto que diversos temas antes segmentados agora devem ser interdisciplinares, visando a construção de competências e habilidades em detrimento da focalização unicamente no conhecimento em si.

Portanto, é imperativo para a consolidação desse plano para o ensino médio que os docentes e a escola estejam cientes da necessidade de trabalhar seus conteúdos de maneira a contribuir para a formação de competências e habilidades. Contudo, apesar da melhora no início dos anos 2000, ainda observamos um ensino médio descaracterizado, centrado nos conhecimentos por si e pouco interdisciplinar (CASTRO, pg 130).

Sensível a essas questões, nosso trabalho propõe um produto educacional para o ensino dos conceitos fundamentais da física ondulatória. Buscamos implementar algumas orientações dos PCN em uma sala de aula do segundo ano do ensino médio¹.

Sobre o ensino de física, na página 22, os PCN dizem:

“[A Física é um conhecimento...] Incorporado à cultura e integrado como instrumento tecnológico, esse conhecimento tornou-se indispensável à formação da cidadania contemporânea. Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de

¹ Muito embora não estejamos fazendo uso explícito da categorização em competências e habilidades propostas nos PCN, ressaltamos que se levou em consideração diversos outros pontos relevantes descritos nos PCN para a formulação e aplicação do produto educacional proposto neste trabalho.

uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação.”

Essa ideia me motivou a eleger o tema física ondulatória como objeto de trabalho pois os fenômenos ondulatórios, apesar de atualmente muito presentes no cotidiano das pessoas, nem sempre são compreendidos de maneira adequada, pelo menos não pela maior parte dos alunos que passam pela formação habitualmente fornecida pelo ensino médio². Ainda na página 22, lemos, nos PCN:

“Para tanto, [...] É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional.”

Desde a concepção inicial do nosso trabalho, estávamos convictos de que é fundamental o desenvolvimento de atividades experimentais que não sejam meramente demonstrativas, uma vez que a física é uma ciência experimental. Evidentemente, não é imperativo que sempre haja atividades experimentais sempre para ensinar os conceitos físicos.

Em face disso, acredito que uma estratégia para ensinar apropriadamente os conceitos básicos de física ondulatória seria trazer o experimento para dentro da sala de aula. Todavia, se o objetivo é veicular o aprendizado de conceitos de física, não podemos nos restringir a efetuar apenas experimentos demonstrativos, pois eles tendem a não passar de uma mera transposição dos modelos ideais, encontrados nos livros-texto, para uma situação concreta. Uma mera demonstração experimental raramente permite que as especificidades da situação concreta contribuam efetivamente para que os conceitos físicos sejam mais bem aprendidos. Para que tais especificidades se tornem aliadas em um processo de aprendizagem significativa³, acreditamos que é preciso que os experimentos sejam efetivamente manipulados pelos alunos. Evidentemente, essa manipulação não pode ser mera reprodução

² Infelizmente, essa não é uma exclusividade da física ondulatória. Há indícios de que parte considerável dos alunos do ensino médio tem grandes dificuldades de aprendizagem em relação à disciplina de Física, de maneira geral. Alguns autores como WALVY (2005, pg.2) e AZEVEDO (2004) corroboram essa ideia. Este último atribui a dificuldade de aprender ciências, entre outros fatores a metodologia utilizada pelos professores em sala de aula.

³ Vide capítulo 2 seção “Referencial didático-pedagógico”.

daquela que seria efetuada pelo professor em um experimento demonstrativo. É preciso ir um pouco além. A manipulação, pelos alunos, só permitirá a aprendizagem conceitual se ela estiver associada às atividades de medição, registro e descrição matemática (tabelas, gráficos, funções) dos fenômenos evidenciados na experiência. Caso contrário, corre-se o risco que essas atividades se degenerem em meras atividades lúdicas.

Por trás dessa maneira de conceber a atividade didática encontra-se o fato de que, ao contrário do que se tornou relativamente habitual defender, em alguns contextos, a dicotomia entre conceitual e matemático é, flagrantemente, falsa. A matemática não é elemento essencial apenas na definição do conceito, mas, principalmente, na sua estruturação. É possível, é claro, sustentar uma dicotomia entre uma abordagem qualitativa e uma quantitativa dos fenômenos naturais, mas, no que se refere ao conceito físico, ele agrega, necessariamente, tanto elementos qualitativos quanto elementos quantitativos (PIETROCOLA, 2002).

Aparentemente, com essa abordagem, novos obstáculos tendem a aparecer. O mais evidente deles está relacionado com o grau de capacidade para a operacionalização da própria matemática, mas há, também, aqueles envolvidos com a pouca familiaridade dos alunos com procedimentos envolvendo a manipulação de instrumentos de medida, bem como a interpretação das unidades e das dimensões concernentes. Acredita-se, em geral, que a maioria dos alunos do ensino médio são mal preparados para operar com a matemática de maneira contextualizada (e muitas vezes, até não contextualizada). Essa, talvez, seja a principal razão pela qual um bom número de professores de física acaba aderindo à dicotomia qualitativo/quantitativo. Isso significa que se adota, habitualmente, uma de duas propostas: ou se prefere descrever uma classe de fenômenos naturais de maneira simplesmente qualitativa, tratando-os, no máximo, de maneira simplificada ou incompleta, ou se prefere reduzi-los a uma mera instância para a aplicação e a manipulação de fórmulas, cujo significado perde-se quase completamente no processo de sua computação.

A raiz do problema talvez esteja na forma como os currículos de matemática foram construídos, balizados pela ideia moderna de que a matemática é, antes de tudo, um sistema formal, cujo vínculo com a realidade

se dá apenas em um segundo momento, no âmbito de suas (possíveis, mas não necessárias) aplicações. O fato de que a matemática se defina dessa forma, entretanto, não implica que ela deva ser ensinada dessa forma. É, aparentemente, um consenso, até mesmo entre os professores de matemática, que a adesão irrestrita àquela ideia os levou a ensinar a matemática de maneira puramente algorítmica, como um conjunto de regras operativas abstratas, à revelia da realidade concreta, o que tem provocado, nos estudantes, uma antipatia ao seu aprendizado. Não há dúvidas de que, do ponto de vista do ensino de física, isso compromete o desenvolvimento pleno dos seus conceitos (KAC, ROTA.1993).

Evidentemente, não se trata, aqui, de defender que o professor de física deva passar a ensinar matemática, mas ele deve tentar escapar da dicotomia qualitativo/quantitativo. Ele não deve fugir da aplicação da matemática, mas não deve aderir a ela deixando que os problemas de física se tornem apenas problemas de matemática. Essa estratégia didática talvez seja a mais viável para alcançar esse objetivo.

Tendo em vista as dificuldades inerentes ao ensino de conceitos de física ondulatória e o seu relativamente elevado grau de abstração, nos propusemos a conceber um produto educacional que tivesse maior conexão com contextos concretos que apresentassem um potencialmente elevado grau de apelo intuitivo e motivacional. Um exemplo disso é a música (CROCKER, 1963; HARTMANN, 1975; WOOD, 2007; PAKER, 2009; GOTO, 2009; HAN, 2011; MOURA, 2011; SANTOS, 2013; CATELLI, 2014; BOWLING, 2015; COELHO, 2015; LAGO, 2015). Adicionalmente, ela permite uma abordagem prática que se compatibiliza com o nosso interesse pela estratégia experimental. Nesse sentido, um produto educacional que seja capaz de aliar física, música, matemática, teoria e experimentação pode, se bem idealizado e confeccionado, mostrar-se um bom instrumento didático-pedagógico. Essa ideia é o cerne da presente dissertação.

Utilizamos a música não apenas com objetivo motivacional, mas como substrato para o desenvolvimento de conceitos físicos. Como não dispúnhamos de muitos recursos financeiros esta atividade deveria ser de baixo custo e utilizando materiais de fácil acesso. Após alguma pesquisa, elegemos o

monocórdio⁴ como instrumento musical de estudo para os alunos. Depois de pensarmos em construir o modelo do monocórdio pitagórico original chegamos a um modelo simplificado bastante interessante onde não só é possível medir diretamente a frequência de oscilação, mas também é possível regular a tensão exercida sobre a corda vibrante. Com esse aparato simples, formulamos uma atividade prática bastante rica, onde abordamos inclusive alguns conceitos de acústica. Para auxiliar essa atividade experimental, fizemos uso de alguns equipamentos eletrônicos de uso individual dos alunos. Celulares e tablets foram usados como frequencímetro e foram essenciais para o sucesso da prática. De fato, a utilização de tecnologias como ferramentas auxiliares na prática docente é cada vez mais comum e vem se mostrando eficaz (YAMAMOTO, 2001; BLEICHER, 2002; HECKLER, 2007; ARANTES, 2010; FILHO, 2010; HEIDEMANN, 2010; MELO, 2010; CARVALHO, 2012; GUEDES, 2015).

Uma vez formulada a atividade experimental, planejamos as aulas de preparação e apresentação dos conceitos fundamentais da ondulatória já citados. Nesses encontros, conduzimos demonstrações utilizando um violão de forma a estimular a formação dos conceitos físicos partindo de conceitos musicais, supostos pré-existentes nos alunos. Utilizamos conceitos musicais intuitivos para construir sobre eles conceitos físicos mais elaborados, mas não sem antes sondar a existência ou não desses elementos. Fizemos isso em um teste prévio interativo, em que os alunos eram expostos a diversos estímulos auditivos e questionados sobre o que escutavam. Com base no resultado desse teste, algumas práticas foram adequadas para o nosso público específico (vinte e dois alunos de uma turma de segundo ano do ensino médio em uma escola particular de Brasília).

Utilizamos também uma simulação virtual do comportamento de uma onda que se propaga em uma corda tensionada objetivando aprofundar a discussão sobre os conceitos básicos de ondulatória. Uma vez que já havíamos demonstrado empiricamente o comportamento de uma onda em uma corda tensionada, essa simulação foi bastante útil para modelar o fenômeno.

4 O monocórdio pitagórico foi um instrumento que consistia em uma corda esticada entre dois cavaletes fixos e entre eles um cavalete móvel que modificava o tamanho da corda vibrante fazendo com que ela pudesse emitir sons mais agudos quanto menor fosse a distância entre o cavalete móvel e o fixo.

Essa demonstração ficou acessível online aos alunos e foi-lhes dada a orientação de explorá-la em casa.

Após, a prática experimental nós nos dedicamos à consolidação dos conceitos físicos evidenciados na prática, além de discutir alguns elementos epistemológicos da prática científica normal com o objetivo de ilustrar como é que se produz conhecimento científico. Essas discussões foram bastante ricas e renderam muitas reflexões de ambas as partes envolvidas no processo.

A estrutura da dissertação é a seguinte. No capítulo 2, abordamos alguns elementos teóricos que nos balizaram tanto no que diz respeito ao tema escolhido, quanto às estratégias utilizadas para alcançar os objetivos didáticos propostos. Construimos as práticas de nosso trabalho baseados na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Além disso, citamos e comentamos rapidamente alguns trabalhos que inspiraram e nortearam as práticas que desenvolvemos em nosso trabalho, além de descrever alguns dos elementos musicais utilizados na elaboração do nosso produto educacional.

No capítulo 3, detalhamos o nosso produto educacional. Construimos uma sequência didática que, partindo de conceitos gerais e simples da música, se desenvolveu gradativamente com o objetivo de construir os conceitos físicos mais complexos. Fizemos uso de TICs e objetos do cotidiano dos estudantes (um violão e uma corda de pular) para relacionar uma linguagem técnica com objetos conhecidos, tornando a transição entre conhecimento do senso comum e conhecimento científico mais suave. Passada a exposição dos conceitos básicos da teoria ondulatória, utilizamos o laboratório de física para discutir esses mesmos conceitos mais maduramente e introduzir relações matemáticas mais complexas.

No capítulo 4, apresentamos o relato da aplicação de nosso produto em sala de aula. No capítulo 5, são discutidos os resultados e feita à análise sobre os dados registrados. Optamos por fazer uma análise qualitativa dos dados, já que foram poucos os alunos expostos a essa atividade e, desses, alguns não assíduos. Finalmente, no capítulo 6, apresentamos nossas considerações finais.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Referencial didático-pedagógico

Segundo Ostermann (2010), as teorias da aprendizagem podem ser separadas em cinco grandes grupos: as behavioristas, as teorias de transição, as cognitivistas, as humanistas e as teorias socioculturais. As teorias behavioristas se concentram apenas no comportamento externo e observável dos indivíduos. As teorias de transição já admitem a existência de fatores relevantes internos aos indivíduos, porém elas se alinham metodologicamente aos princípios behavioristas. As teorias cognitivistas, finalmente, centram-se no estudo de estruturas internas ao indivíduo (ou seja, partem do pressuposto que existe uma estrutura interna individual, a mente, que precisa ser elucidada). Esses três primeiros grupos são de teorias eminentemente voltadas para aprendizagem enquanto processo individual, porém os dois últimos grupos de teoria preocupam-se com a aprendizagem enquanto processo social. As humanistas atribuem grande peso às relações interpessoais e as teorias socioculturais concentram seus esforços no estudo de como fatores socioculturais influenciam a aprendizagem de cada indivíduo. Dessas diferenças se depreende que as teorias de aprendizagem – pelo menos no que se refere aos grupos – não necessariamente se opõem, mas se complementam eventualmente. De qualquer modo é importante frisar que essa classificação tem objetivo meramente didático, não refletindo uma classificação formalmente rigorosa.

Várias dessas maneiras de compreender o fenômeno da aprendizagem humana acabam por prescrever ou sugerir métodos para a prática do ensino. Do mesmo modo, elas também são capazes de fornecer chaves de interpretação para o sucesso ou fracasso de certos eventos educativos e, muito embora devam ser utilizadas de forma cuidadosa e crítica, podem ser úteis para orientar o trabalho em sala de aula. Em razão das características de nosso trabalho, julgamos ser a abordagem cognitivista aquela que fornece a

chave interpretativa mais adequada. E, em virtude das naturezas do produto e de sua forma de aplicação, a abordagem ausubeliana se nos afigurou como a mais compatível.

As teorias de aprendizagem cognitivistas não são homogêneas. As mais relevantes historicamente são as teorias de Piaget, Vigotsky, Bruner e Ausubel. Todas elas aceitam como premissa comum a existência de uma estrutura interna individual (normalmente hierarquizada) onde a aprendizagem acontece de fato, muito embora possam fazê-lo utilizando conceitos diversos, porém isso não significa que essas teorias sejam necessariamente compatíveis entre si. Dessa forma essas teorias da aprendizagem podem ser vistas como fragmentos de uma única e abrangente teoria da aprendizagem cognitivista⁵ (LAWTON et al, 1980).

Na teoria da aprendizagem de Ausubel, se conceitua aprendizagem como a organização e integração do material (informação) na estrutura cognitiva do aprendiz (mente ou equivalente interno) (MOREIRA, 1999). Para ele, o fator mais importante para a aprendizagem é aquilo que o estudante já conhece. Aprendizagem seria uma elaboração mais ampla e complexa construída sobre conceitos pré-existentes, adquiridos ou pela experiência empírica ou culturalmente. Porém, a aprendizagem não se restringe a completar um objeto pré-existente, mas constitui, principalmente, uma modificação de uma estrutura cognitiva existente.

É dado o nome de *conceito subsunçor* para aqueles conceitos pré-existentes ao processo de aprendizagem. Eles servem como ganchos sobre os quais irão ser “pendurados”, e eventualmente integrados, os novos

⁵ Essa afirmação não é sempre verdadeira já que há conceitos antagônicos que não podem coexistir em uma teoria única, porém há outros tantos que podem coexistir sem que haja contradição. Aliás, há conceitos que são perfeitamente complementares um ao outro. Como exemplo, cito as teorias de Ausubel e Bruner: enquanto a primeira prescreve que o processo de ensinar algo deve ser conduzido e “controlado” (pelo menos previsto) pelo professor, a teoria de Bruner sugere que a aprendizagem pode acontecer como uma descoberta natural e espontânea do aluno e o papel do professor é o de criar o ambiente propício para essa descoberta. São claramente antagônicas, porém essas mesmas teorias se complementam muito bem em relação à estrutura interna hierárquica do aprendiz. Ausubel diz que quando há aprendizagem significativa os conceitos se organizam de maneira hierárquica, por ordem de relevância para o aprendiz, mas não faz muitas considerações sobre essa estrutura, já na teoria de Bruner ele faz ampla discussão sobre o que ele chama de “categorias” que também são organizadas de maneira hierárquica e quando são formadas, constituem “evidências” de aprendizagem.

conhecimentos. Ausubel acredita que o conhecimento humano é organizado e hierarquizado, ou seja, conceitos gerais se ramificam em conceitos mais específicos de maneira ordenada e lógica. Nesse contexto, o termo *estrutura cognitiva* significa uma estrutura hierárquica de conceitos que são representações abstratas advindas de percepções e experiências sensoriais do indivíduo (MOREIRA, 1999).

O conceito central na teoria de Ausubel é a aprendizagem significativa. Ele significa uma aprendizagem que acontece de maneira organizada e integradora, aproveitando sempre os conceitos prévios (conceitos subsunçores) para construir estruturas mais complexas e completas do conhecimento de um indivíduo. Ou seja, a aprendizagem significativa acontece sempre que a estrutura preexistente assimila conteúdo novo, modificando-se. Em oposição ao que ele chama de aprendizagem significativa, há a aprendizagem mecânica que acontece quando os novos conhecimentos não tem nenhum conceito subsunçor para se apoiar ou tem pouca relação com eles. Mesmo definindo essa dicotomia entre aprendizagem significativa e mecânica, Ausubel ressalta que elas convivem contemporaneamente. Sendo assim, ele não exclui a possibilidade de uma aprendizagem mecânica vir a tomar significado no futuro, quando o indivíduo experimentar novas vivências e criar novos conceitos subsunçores. Um exemplo disso é a aprendizagem de novas línguas que pode ser, no início, bastante mecânica (aprender novas sílabas que não fazem sentido na língua materna, por exemplo), mas, ao viver em um país onde se fala essa outra língua, o aprendiz acaba formando novos subsunçores sobre os quais serão apoiados aqueles conhecimentos adquiridos mecanicamente.

Uma discussão que é conduzida na teoria de Ausubel é a de onde vêm os subsunçores. Será que eles são inatos ao indivíduo ou são adquiridos? Neste caso, como são adquiridos? Bem, essa é uma discussão que ultrapassa a ambição desse trabalho. Supomos a existência de subsunçores e não nos perguntamos de onde eles vieram. A suposição é bastante razoável, já que é facilmente verificável a existência de uma relação próxima dos alunos que participaram do projeto com os subsunçores supostos. Em nosso projeto partimos da hipótese de que os conceitos musicais de sons graves e agudos

("grossos" e "finos"), de consonância e de dissonância eram conceitos subsunçores.

Em sua teoria, Ausubel enuncia que a condição necessária para que haja aprendizagem significativa é a que o conhecimento (ou material, como é chamado na teoria de Ausubel) a ser aprendido seja *relacionável* com a estrutura cognitiva do aprendiz, ou seja, é necessário que haja uma relação possível (organizada e hierárquica) entre os subsunçores e o novo material. Aqui entra o papel do que ele chama de *organizador prévio*, que seriam conhecimentos introdutórios que serviriam como pontes entre o que já era conhecido com o que se pretender conhecer. Partindo dos subsunçores iniciais identificados (percepção de consonância e dissonância, além da percepção de sons graves e agudos), utilizamos diversos recursos como organizadores prévios (as aulas expositivas, uma lista de exercícios e um texto preparatório para o experimento), que serão detalhados no capítulo quatro, para conduzir o estudante a integrar novos materiais.

Quando há aprendizagem significativa, segundo Ausubel, verifica-se a posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis (MOREIRA, 1999). Porém, avaliar isso não é tarefa simples, já que, ao ser inquirido sobre o assunto, o estudante pode fornecer como resposta apenas conceitos mecanicamente memorizados. Ele argumenta que a tradição de realizar exames pode condicionar o aluno a memorizar equações, conceitos e formas de resolver problemas padronizados. Isso implica a necessidade de que a avaliação da aquisição de aprendizagem significativa aconteça nos mesmos moldes da aquisição dessa aprendizagem.

As avaliações devem acontecer em um ambiente novo e desafiador, no sentido de oferecerem alternativas de respostas não condicionadas e que requeiram uma grande transformação do conhecimento adquirido. Em nosso trabalho, tivemos uma preocupação especial com as avaliações, não só na elaboração delas, como também na correção. Quando oferecemos um ambiente novo e desafiador para o aluno, devemos esperar que ele cometa erros que não podem ser simplesmente punidos sem que antes passem por uma reflexão que busca compreender o significado da resposta dada por

aquele indivíduo, em particular. O ambiente é novo e desafiador também para o avaliador/professor, por isso o cuidado que tivemos com esse ponto⁶.

Como exemplo disso, cito a prática experimental que utilizamos em nossa sequência didática. Apesar de planejada e pensada com cuidado na hora da prática efetiva, o professor não pôde controlar todo processo, já que eram vários grupos com demandas diferentes em relação à atividade. A liberdade que tiveram os grupos na atividade experimental propiciou um ambiente onde os alunos puderam investigar o fenômeno ondulatório em questão por si próprios e tirar dali conclusões, ainda que equivocadas. Aproveitamos essa oportunidade para fazer avaliação parcial do processo educacional em desenvolvimento, já que esta era uma atividade nova e inexplorada para os alunos que puderam mostrar o que já haviam aprendido até aquele ponto.

Em resumo, para Ausubel, o professor pode auxiliar a aprendizagem significativa quando conduz atividades e introduz materiais (organizadores prévios) que, partindo de subsunçores, ofereçam experiências mediadoras entre o conhecimento prévio e o final e finalmente integra-se a estrutura cognitiva prévia uma nova estrutura mais completa e consolidada.

Até onde sabemos Ausubel não se dedicou a prescrever um método educacional, mas sim a construir uma teoria de aprendizagem. Quero dizer com isso, que não há uma prescrição rígida a se seguir para que seja exitosa a aplicação de uma sequência didática ou uma instrução específica. Ao invés disso, para nós, Ausubel se preocupou em descrever os processos cognitivos relacionados à aprendizagem, sem deixar de realizar apontamentos sobre o papel do educador no processo.

Um exemplo de método educacional propriamente dito pode ser encontrado no trabalho de Moreira (UEPS). Ele formula um método baseado (não apenas, mas principalmente) na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Moreira denomina esse método de *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas*, ou *UEPS*. O método se baseia na ideia de

⁶ Em concordância, de fato, procuramos elaborar nossas avaliações de uma maneira que evitasse a repetição de padrões. Em particular em um ambiente novo, o laboratório.

produzir uma sequência didática para garantir que o aprendiz aprenda, ao final do processo, conceitos significativos (aos moldes ausubelianos). Para tanto, o autor propõe sete passos que devem ser observados na formulação de uma sequência de aprendizagem. A saber:

- Passo 1: definir o tópico específico a ser abordado,
- Passo 2: criar/propor situação(ções) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;
- Passo 3: propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar;
- Passo 4: uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva⁷.
- Passo 5: retomar os aspectos mais gerais, estruturantes do conteúdo da unidade de ensino, em nova, porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação.
- Passo 6: dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa
- Passo 7: a avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando

⁷Isto é, “começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo” (MOREIRA, UEPS).

tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado;

Ainda segundo o autor:

“A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.”

Utilizamos essas recomendações metodológicas do professor Moreira, para nos orientar em relação à estrutura da nossa sequência didática. No entanto, não seguimos à risca todas as suas orientações, especialmente em relação à avaliação. Em nosso produto, propomos uma avaliação continuada, ao longo do processo, e não estabelecemos uma avaliação única. Apesar de lançarmos mão de um teste final, este apenas compôs uma avaliação mais ampla e não foi o único instrumento para fazê-la.

2.1.1 Subsunoçores e suas relações com os conceitos musicais e físicos

O nosso produto se baseia na hipótese de que elementos musicais perceptuais podem ser estruturantes e originarem subsunoçores que podem ser usados no aprendizado de conceitos de física ondulatória. Essa hipótese foi testada em um teste sondagem. Além disso, foi verificada novamente a existência dos subsunoçores consonância e dissonância e sons agudos e graves na primeira aula expositiva. Só então desenvolvemos o restante da sequência didática proposta nesse trabalho, de tal forma que acreditamos que esses subsunoçores, de fato, constituem bases sólidas sobre as quais uma sequência didática com os mesmos propósitos que os nossos pode ser construída.

Assim, nosso produto educacional constitui apenas uma possível maneira de desenvolver a aprendizagem de conceitos de física ondulatória

partindo de elementos musicais intuitivos. Encorajamos o desenvolvimento de outras práticas que utilizem esses subsunçores por nós identificados. A seguir, de forma esquemática, mostramos a progressão desses conceitos em termos da teoria de Ausubel.

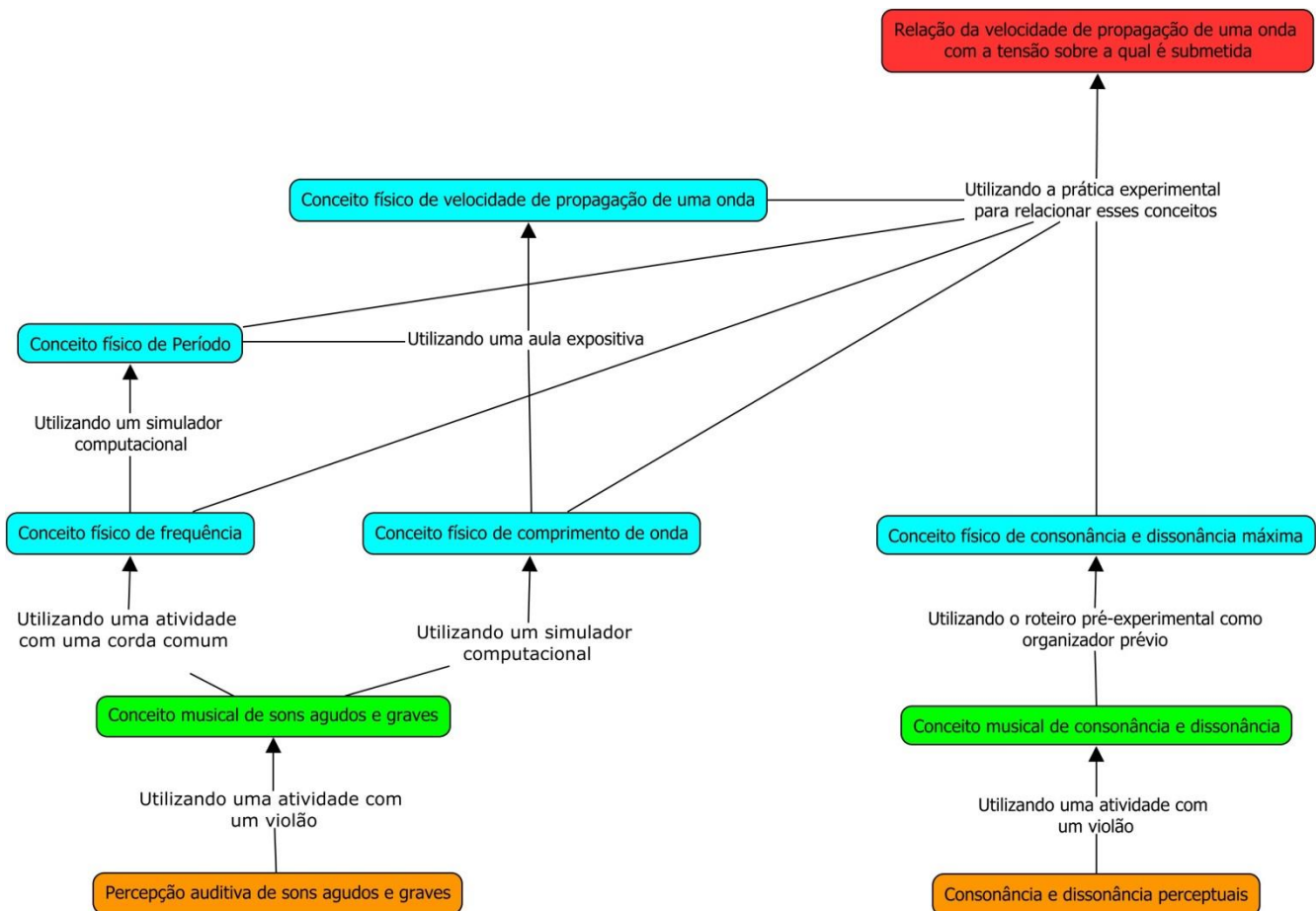


Diagrama 1: Mapa conceitual mostrando a relação entre as percepções auditivas, os subsunçores identificados e os conceitos físicos abstratos. Em laranja (parte inferior do diagrama) estão as percepções auditivas que originam os subsunçores iniciais. Em verde, os subsunçores utilizados nesse produto educacional. Em azul, os conceitos físicos abstratos relacionados aos subsunçores musicais identificados. Em vermelho, um conceito físico mais complexo que exige articulação entre os conceitos físicos aprendidos.

2.2 O modelo físico/musical

Há diversos tipos de instrumentos musicais, dentre os quais estão os instrumentos de sopro (como flautas), os de cordas friccionadas (como violinos), os de cordas dedilhadas (como violão), os de cordas percutidas (como piano), os de percussão (como tambores), os idiofônicos (como sinos) e os eletrofônicos (como o teremim). Cada um deles exige um tratamento matemático um pouco diferenciado, mas os conceitos físicos básicos envolvidos na descrição do fenômeno acústico são os mesmos: frequência, período, comprimento de onda, amplitude, velocidade de propagação, etc.

Por outro lado, temos uma descrição musical do mesmo fenômeno em termos de tessituras, tonalidades, notas musicais, andamentos, ritmo, etc. Nem sempre há uma relação direta ou mesmo coerência entre os vocabulários envolvidos nas duas descrições, mas existem muitas relações entre os conceitos envolvidos.

Música é algo com que os alunos convivem e muitos gostam o que pode fornecer um excelente motivador para o ensino de física. Pensando nisso, sempre que possível, e que for conveniente, podemos tentar descrever fisicamente (e matematicamente) os fenômenos sonoros observados na prática da música. Para que não corramos o duplo risco de tornar a descrição dos conceitos ainda mais inacessível, já que não são todos os alunos que conhecem a linguagem musical propriamente dita (partituras e símbolos musicais), ou de desviarmos o foco da aprendizagem do conceito físico para o aprendizado de teoria musical (que não é o nosso objetivo), devemos ser cuidadosos para que a música (e seus conceitos) seja(m) utilizada(s) apenas como substrato concreto para a instanciação do fenômeno físico, que é a produção e a propagação da onda sonora. O estudo da acústica, nesses termos, passaria a ser, também, um modo de instanciar conceitos abstratos que podem ser transpostos para o contexto de outros fenômenos ondulatórios, como o das ondas eletromagnéticas. Evidentemente, por tratar-se da utilização da prática musical – por exemplo, uma composição específica que esteja sendo efetivamente reproduzida, ao vivo –, é indicado que os conceitos de física ondulatória sejam trabalhados a partir do funcionamento de instrumentos musicais, o que permite um tratamento experimental.

Os instrumentos mais interessantes e convenientes para cumprir nosso objetivo são os de cordas dedilhadas e os de sopro. As cordas dedilhadas, como o violão e a guitarra, são instrumentos muito populares e criar um modelo físico simplificado deles não é tarefa tão árdua como no caso dos eletrofônicos (que exigem conhecimentos de eletromagnetismo). Para a construção do produto educacional nós nos inspiramos na história da invenção da escala diatônica, atribuída a Pitágoras. Os conceitos de consonância e dissonância (perceptuais) são a base para a construção dessa escala e foram utilizados por nós como conceitos subsunçores.

É atribuída a Pitágoras a construção do monocórdio (figura 1), um instrumento que consistia em uma corda esticada entre dois cavaletes fixos e entre eles um cavalete móvel que modificava o tamanho da corda vibrante fazendo com que ela pudesse emitir sons mais agudos quanto menor fosse a distância entre o cavalete móvel e o fixo.

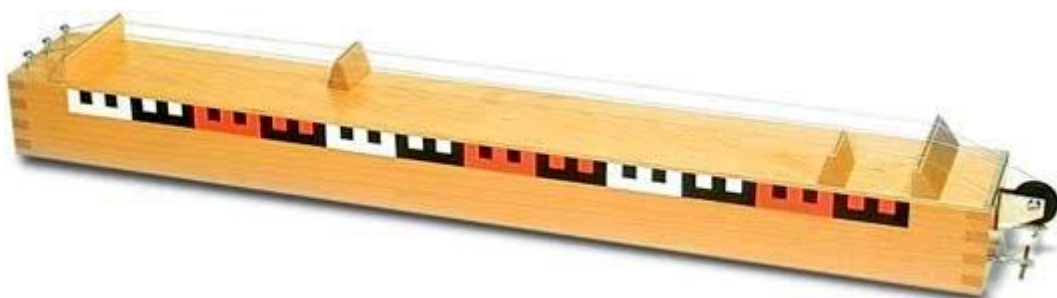


Figura 1: Modelo moderno de monocórdio conforme idealizado por Pitágoras. Disponível em: <http://www.reinalab.com.br/anatomia/cordas-de-monocordio-kit-com-3.html>

Para a criação da escala musical canônica, base da escala utilizada hoje no mundo ocidental (com algumas modificações na Idade Média, no Renascimento e em outros períodos), Pitágoras percebeu que o som emitido pela corda solta (sem o cavalete móvel) sob certa tensão era consonante com o som mais agudo emitido pela corda com o cavalete móvel posicionado exatamente na metade do comprimento (ver figura 2).

O conceito de consonância entre sons é um conceito musical complexo, tendo apresentado múltiplas definições, variáveis ao longo da história e das culturas (BOWLING, 2015). Modernamente, esse conceito é compreendido como um problema complexo, que envolve uma descrição físico-matemática,

uma compreensão do fenômeno biológico envolvido na audição humana e a fala como expressão social (HAN,2011). É possível, entretanto, apresentar uma definição (bastante) simplificada, que originou a escola diatônica moderna.

Essencialmente, dois sons apresentam máxima consonância se o ouvido humano não for capaz de distingui-los. Evidentemente, isso acontece no caso de dois sons idênticos (uníssonos). Quanto maior for a propensão para que dois sons sejam confundidos com sons uníssonos, maior será a consonância. Alternativamente, quanto menor a propensão, maior será a dissonância. Esse é o conceito (simplificado), definido em termos psicológicos (perceptuais).

É conveniente, entretanto, tratar a consonância e a dissonância em termos físicos. Assim, consonância entre dois sons pode ser obtida (para duas ondas com mesma velocidade) quando a relação entre suas frequências resulte em um pequeno número inteiro positivo. A dissonância, portanto, é definida como uma relação entre as frequências que não resulte em um inteiro positivo.

Arbitrariamente⁸, Pitágoras atribuiu importância aos sons emitidos nas posições 1/3, 1/4 e 1/5 do cavalete móvel, posições que hoje chamamos de notas musicais mi, fá e sol. Como a frequência é inversamente proporcional ao comprimento da corda e a velocidade de propagação da onda é a mesma (em um mesmo meio, com uma mesma fonte), temos a relação $\frac{f_2}{f_1} = \frac{L_1}{L_2}$, entre as frequências e os comprimentos da corda. Podemos definir f_1 como a frequência emitida pela corda solta (a frequência fundamental, de comprimento L_1), correspondendo à nota musical que arbitrariamente podemos chamar de dó. Se atribuirmos o valor 1 a f_1 , temos que f_2 será, respectivamente, 3/2, para a nota sol (considerando que o comprimento da corda vibrante é 2/3), 4/3, para a nota fá (considerando que o comprimento da corda vibrante é 3/4) e 5/4, para a nota mi.

⁸ Na verdade, os intervalos de quinta e quarta justa tinham um significado espiritual e cosmológico para Pitágoras (CROCKER, 1963). De toda forma, esses intervalos não são os únicos consonantes, nem os mais, e só foram escolhidos por Pitágoras para compor o que seria conhecido como escala diatônica, por conta da ontologia pitagórica.

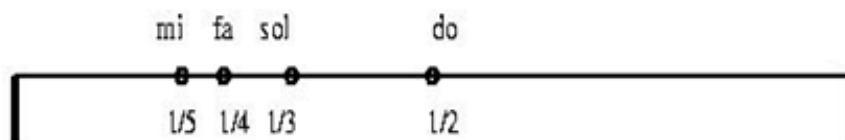


Figura 2: Proporções para a escala musical de Pitágoras.

Essa escala rudimentar foi aprimorada para a criação da escala diatônica, que usamos até hoje. Ela se baseia em dois intervalos (novamente, definidos arbitrariamente) chamados, atualmente, de quinta justa e de quarta justa. Entende-se por intervalos a diferença entre dois sons ou notas (ou seja, diferenças entre comprimentos de corda, que se traduz como diferença de frequências). O intervalo de quinta justa é o intervalo entre o dó fundamental (corda solta) e o sol. Dessa forma, o intervalo, em termos de comprimento, é $2/3L$, onde L é o comprimento inicial da corda e a frequência, novamente atribuindo o valor 1 para f_1 , será $3/2$. Já o intervalo de quarta justa, obtido pelo mesmo método, tem frequência $4/3$. Esses intervalos são importantes porque toda a escala musical diatônica é baseada na sua superposição.

Dessa forma, se f_1 (a frequência fundamental da corda) for chamada de dó, temos uma quinta justa sendo chamada de sol, com frequência de $3f_1/2$. Se partindo, da nota dó, subirmos (para o agudo) uma quarta justa, teremos a nota fá $4f_1/3$. Para a definição das outras notas, procedeu-se da seguinte forma: ré foi definida como sendo uma quarta para baixo (para o grave), contando-se a partir do sol, com frequência $9f_1/8$; uma quinta acima do ré fornece a nota lá com frequência $27f_1/16$; uma quarta abaixo do lá fornece a nota mi, com frequência $81f_1/64$ e, finalmente, uma quinta acima do mi fornece a nota si, com frequência $243f_1/128$. Dessa forma temos dois intervalos, um de $9/8$ e um de $256/243$, de dó a dó, o que chamamos de escala diatônica (figura 3). Seguindo esse mesmo algoritmo (uma quinta para “cima”, seguido de uma quarta para “baixo”) obtêm-se os sustenidos e bemóis.

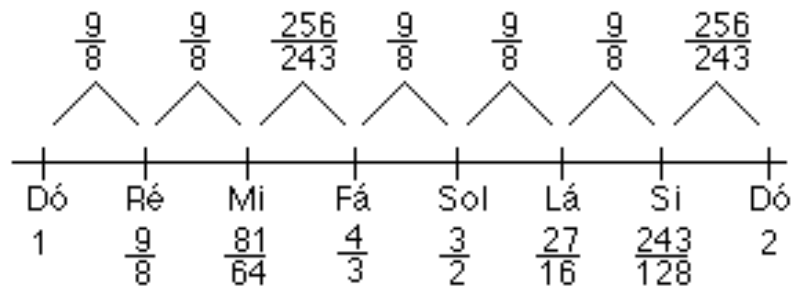


Figura 3: Escala diatônica.

2.3 Estudos Anteriores

Como subsídio para a concepção do produto, bem como para a formulação da sequência didática, fizemos uma ampla pesquisa bibliográfica no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, na Revista Brasileira de Ensino de Física, na revista Física na Escola e em vários artigos e dissertações publicados sobre o tema. Na maior parte das fontes consultadas, há o consenso de que ainda há trabalho a ser feito em relação à melhoria do ensino em sala de aula com relação, entre outros temas, à física ondulatória.

Em nosso produto educacional (apêndice único), utilizamos diversos recursos de diferentes naturezas com o propósito de: relacionar os conteúdos lecionados com elementos do cotidiano dos alunos (que serviram de subsunçores no desenvolvimento da prática); tornar claros conceitos mais abstratos utilizando simulações, aplicativos e ferramentas online e aplicá-los como instrumentos de medida para que os próprios alunos fossem capazes de inferir sobre os fenômenos observados.

Utilizamos um violão para identificamos nos alunos os subsunçores e para que eles tomassem consciência deles. Há vários trabalhos que abordam o uso de instrumentos musicais no ensino de física como os trabalhos de Lago (2015) e Santos, Molina e Tufaile (2013). No primeiro, o autor explora a utilização da guitarra como instrumento para o ensino de física ondulatória. Ele propõe a utilização desse instrumento para ilustrar as características acústicas de altura, intensidade e timbre e utilizara diversos conceitos musicais, como escalas, intervalos e notas musicais, para construir uma relação do instrumento com esses conceitos físicos. Lago conclui que como quase todos os alunos

tem interesse em música, a utilização deste recurso os ajudará a assimilar os conceitos físicos apresentados em sala de aula.

No trabalho de Santos et al. (2013) os autores propõe a utilização de *softwares*⁹ para analisarem o comportamento das cordas de um violão (amplitude, potência, frequência, etc.) algumas em tempo real. Nessas demonstrações os resultados obtidos são comparados com previsões teóricas. Os autores verificam que a aplicação de um modelo matemático simples (superposição de harmônicos) é bem sucedida na descrição do som produzido por violões e guitarras. Assim, esses instrumentos podem ser usados como material complementar no estudo de ondulatória.

Em nosso trabalho também utilizamos um violão e softwares para analisar o comportamento das cordas vibrantes, porém, com propósitos ligeiramente diferentes do que a proposta no trabalho de Santos et al. Quando utilizamos o violão, nossa intenção era apenas evidenciar os conceitos de período, frequência e comprimento de onda, por isso não fizemos nenhuma descrição quantitativa desses conceitos, deixando isso para a atividade experimental com o uso do monocórdio. Lago aponta para música como um foco de interesse dos alunos, fato no qual também acreditamos, porém, em nosso trabalho utilizamo-la não apenas como motivadora para o estudo de física ondulatória. Nós utilizamos conceitos musicais como subsunçores e estruturantes para a aquisição de conceitos físicos abstratos. No trabalho de Lago, conceitos físicos também são abordados. Entretanto, não há uma preocupação maior com o modo como eles devem ser ensinados. Além disso, as técnicas utilizadas para tocar o violão em nosso trabalho são bem mais simples de serem executadas em sala de aula do que as propostas pelo autor.

Propomos o funcionamento do violão como uma situação-problema motivadora para a discussão sobre os conceitos fundamentais da ondulatória. No trabalho de Walvy (2005) é discutido como situações-problema podem ser facilitadoras para a aprendizagem de conceitos físicos no Ensino médio. O autor baseia seu trabalho também na teoria de Ausubel e discute *“como o uso adequado de situações-problema feito pelo professor junto aos seus alunos*

⁹EXPstudioAudio Editor e o Origin 8.0.

pode facilitar e enriquecer o aprendizado de conceitos físicos no ensino médio” (WALVY, 2005). O autor conduz uma análise sobrepor que os alunos do ensino médio sentem dificuldades para aprender física e propõe que situações-problema e o uso de computadores podem ser facilitadores na aprendizagem de física junto a alunos dessa faixa etária. Ele afirma isso baseado na crença de que um trabalho interdisciplinar pode ajudar sensivelmente os alunos a compreenderem melhor os conceitos físicos.

Outro autor que também discute situações-problema é Azevedo (2004). Em seu livro a autora explora o ensino por investigação. Ela afirma que *“os trabalhos de pesquisa em ensino mostram que os estudantes aprendem mais sobre a ciência e desenvolvem melhor seus conhecimentos conceituais quando participam de investigações científicas, semelhantes às feitas nos laboratórios de pesquisa”*. Em nosso produto educacional verificamos que um laboratório de física baseado na investigação parece mesmo contribuir positivamente para a formação de aprendizagem significativa, muito embora não acreditemos que as manipulações realizadas pelos alunos possam ser realmente semelhantes a quaisquer atividades que possam ser feitas em um verdadeiro laboratório de pesquisa.

Villani (2003) aponta a *“importância do planejamento da atividade experimental e dos dados empíricos nos laboratórios didáticos de ciências como mediador de significado”*. Em seu trabalho, os autores argumentam que a prática experimental em um laboratório didático traz o benefício ao estudante quando suscita a necessidade da utilização de argumentos mais adequados e completos. Nesse processo, os conhecimentos adquiridos ou simplesmente manipulados na compreensão do fenômeno exposto na prática experimental tornam-se mais significativos. Em nosso trabalho, utilizamos o laboratório didático com propósitos semelhantes, mas sem a possibilidade de explorá-lo como foi feito no trabalho de Villani, pois os estudantes participantes apresentavam sérias limitações matemáticas e total desconhecimento dos procedimentos em um laboratório didático. Como não dispúnhamos de tempo para treiná-los para essa prática, optamos por desenvolvemos uma prática experimental mais simples.

Em nosso trabalho, nós nos utilizamos tanto de uma corda comum quanto de softwares para estudar o comportamento de uma corda de um

violão. De fato, é mais fácil ver a propagação de um pulso e a formação de ondas estacionárias (utilizando esses recursos). A utilização de softwares é uma estratégia bastante utilizada no ensino de conceitos físicos de ondulatória, como pode ser visto, por exemplo, nos trabalhos de BLEICHER, 2002 e GUEDES, 2015.

No trabalho de Bleicher (2002), os autores utilizam o software de computação simbólica *Mathematica*. Com ele, para fins didáticos, simulam efeitos sonoros como o *Tremolo*, *Phaser* e *Auto-Wa*. Fazem isso de maneira demonstrativa. No trabalho de Guedes (2015), é utilizado o *app* gratuito “*PA Tone*”. Esse software é semelhante ao que foi usado em nosso trabalho, porém em vez de captar e representar o som com um número, o *PA Tone* emite um som a partir de um número. Com isso o autor construiu um oscilador mecânico para demonstrar ondas estacionárias em uma corda de extremidades fixas, na qual a densidade linear da corda pode ser inferida.

Também consultamos o artigo de Melo (2010) sobre a utilização das TIC's no ensino de Física. A autora acredita que o ensino não deve ficar alheio às evoluções dos computadores e tecnologias adjacentes e mostra a importância da utilização dessas tecnologias em sala de aula utilizando o software *Modellus*. Melo descreve em seu trabalho que foi observado que os alunos mostraram mais interesse e motivação nas aulas.

Esse trabalho nos inspirou a utilizar simuladores para discutir o comportamento de uma onda em uma corda. Nossa opção foi pelo simulador “Ondas em uma corda” do PHeT Colorado¹⁰. Esse simulador consiste em uma corda na qual podemos propagar um pulso ou uma onda (há ainda a opção de propagar pulsos manualmente). Pode-se regular os parâmetros de tensão sobre a corda, frequência de oscilação, amplitude da onda, comprimento de onda e condições da extremidade da corda (solta, fixa ou infinita).

¹⁰Fundado em 2002 por Carl Wieman (prêmio Nobel) o PHeT é um projeto da *University of Colorado Boulder*. Em seu website (phet.colorado.edu) há diversas simulações gratuitas que são baseadas em extensa pesquisa sobre educação.

Utilizamos também a construção de mapas conceituais com ferramenta virtual¹¹ e diversas ferramentas do Google. Sobre essas últimas o artigo de HEIDEMANN, 2010 foi bem útil. Em seu trabalho, os autores destacam a importância de utilizar ferramentas tecnológicas em sala de aula e descrevem, como exemplo, as ferramentas gratuitas do Google. Entre as ferramentas disponíveis e utilizadas por nós estão o GoogleForms (criação de formulários online), o GoogleSites (criação de sites como repositórios online) e o GoogleDocs (elaboração de documentos Word e Excel online, com possibilidade de edição compartilhada).

Usamos o GoogleForms para construir teste prévios e o GoogleSites para criar repositórios online para armazenar o material que os alunos deveriam acessar. Utilizamos o guia da *International Training & Education Center on HIV*¹² sobre Orientações para Pré e Pós-Teste como ponto de partida para a construção de um bom teste prévio. Acrescentamos que a produção de bons pré-testes é essencial para que os conhecimentos prévios sejam identificados com o máximo de clareza possível. Da mesma forma, a elaboração de um bom pós-teste que seja compatível com a exigência ausubeliana (que evite o recurso a respostas padronizadas) é absolutamente necessário para a verificação do sucesso ou do fracasso envolvido no processo educacional.

Finalmente, julgamos bastante relevante que nosso trabalho leve em consideração a implementação dos princípios gerais que regulam as PCN. Há diversas discussões sobre a dificuldade da implementação dos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ricardo (2002) em seu trabalho intitulado: “*O ensino das ciências no nível médio: Um estudo sobre as dificuldades na implementação dos parâmetros curriculares nacionais*”, identifica as percepções de professores de ciências e matemática, supervisores e diretores de um colégio estadual de grande porte em relação a atual situação da implementação dos PCN. Em suas considerações finais o autor diz:

¹¹CMapTools

¹² Os guias de implementação Técnica da I-TECH (2008) são uma série de documentos práticos e instrutivos criados para dar apoio aos seus funcionários. O guia em questão dá exemplos de pré e pós-testes para medir o conhecimento adquirido por um participante de um curso de formação sobre HIV, mas antes de fazer isso há uma extensa explicação sobre o que é, como deve ser feito e para que serve um pré e pós teste.

“Observamos através das falas dos entrevistados que ainda há muito para ser feito e que as dificuldades dos profissionais da educação, suas concepções de ensino, de homem e de sociedade não podem ser ignoradas, já que são os principais atores da reforma.” (RICARDO, 2002, pg 365). Outro autor que discute sobre os PCN é CASTRO (2005) em seu trabalho “A reforma do ensino médio e a implantação do ENEM no Brasil”. Os autores fazem uma excelente e esclarecedora análise história sobre o ensino médio no Brasil. Apontam as políticas públicas das décadas de 90 e 2000 voltadas para a melhoria do ensino médio, entre elas os PCN. Há também uma ampla análise sobre o ENEM.

Capítulo 3

Descrição do Produto Educacional

Nesse capítulo, detalhamos nosso produto educacional (que se encontra, na íntegra, no apêndice único). Ele constitui-se de uma sequência didática que gira em torno do uso do monocórdio e elementos musicais intuitivos como estruturantes no ensino de conceitos fundamentais na física ondulatória. Nessa sequência, são utilizados alguns materiais didáticos desenvolvidos especificamente para esse produto que são detalhados na seção 3.2. Utilizamos diversas ferramentas da internet, não só como estruturantes, mas também como ferramentas didáticas. Elas são detalhadas na seção 3.3. Ao final desse capítulo, encontra-se ainda uma seção dedicada ao monocórdio, na qual explicamos seu funcionamento e possíveis aplicações.

3.1 Sequência de aprendizagem

A sequência didática foi estruturada em sete aulas e objetiva introduzir conceitos básicos de física ondulatória para alunos do 2º ano do Ensino médio. Os conceitos, aqui classificados como básicos, que foram escolhidos são: comprimento de onda, frequência de oscilação, período de oscilação e velocidade de propagação de uma onda. Adjacente a esses conceitos também foi trabalhado: as formas de propagação de ondas, tipos de ondas e velocidade de propagação de uma onda em uma corda de extremidades fixas em função da tensão a que ela é submetida. A seguir, uma tabela é mostrada para melhor visualização da sequência didática em questão¹³.

Aula	O que foi desenvolvido
Aula 1 (Simples)	Teste prévio + tutorial de como confeccionar mapas conceituais

¹³Uma aula simples tem duração de 50 minutos enquanto que uma aula dupla tem 1h40minutos de duração.

<p>Aula 2 (Dupla)</p>	<p>Aula expositiva que aborda os seguintes temas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Definição do conceito musical de consonância com o uso de violão. b. Relação entre frequência perceptual (sons agudos e graves) com os comprimentos da corda vibrante. c. O que é um pulso? O que é uma onda? d. Comprimento de onda e. Frequência e período de uma onda <p>ATIVIDADE PARA CASA: EXERCÍCIOS QUE VERSAM SOBRE CÁLCULOS SIMPLES ENVOLVENDO FREQUÊNCIA, PERÍODO E O CONCEITO DE ONDAS. CONSTRUÇÃO DE UM MAPA CONCEITUAL SOBRE OS TEMAS ABORDADOS.</p>
<p>Aula 3 (Simples)</p>	<p>Aula expositiva que aborda o seguinte tema:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Velocidade de propagação da onda em uma corda e equação fundamental da onda ($v = f \cdot \lambda$). <p>ATIVIDADE PARA CASA: PREPARAÇÃO PARA A ATIVIDADE EXPERIMENTAL E EXERCÍCIOS NO LIVRO TEXTO DA ESCOLA.</p>
<p>Aula 4 (Dupla)</p>	<p>Atividade experimental utilizando o monocórdio.</p> <p>Objetivos: Medir a tensão na corda e relacioná-la com as frequências emitidas por cada um dos seus segmentos. Observar que a frequência medida no segmento de corda menor é aproximadamente o dobro do segmento de corda maior, dessa forma será fácil</p>

	<p>observar a equação fundamental da ondulatória.</p> <p>ATIVIDADE PARA CASA: PRODUZIR O RELATÓRIO DA ATIVIDADE. ADICIONAR CONCEITOS AO MAPA CONCEITUAL SOBRE OS TEMAS ABORDADOS.</p>
Aula 5 (Simples)	<p>Discussão sobre os dados e análises feitas na aula anterior e explicar, questão a questão, como deve ser confeccionado o relatório experimental.</p> <p>ATIVIDADE PARA CASA: ADICIONAR CONCEITOS AO MAPA CONCEITUAL SOBRE OS TEMAS ABORDADOS + CONFEÇÃO RELATÓRIO EXPERIMENTAL.</p>
Aula 6 (Dupla)	<p>Análise dos gráficos obtidos e descrição a equação de Taylor como uma formulação para um caso ideal. Correção das atividades.</p>
Aula 7 (Simples)	<p>Teste final. FIM DA ATIVIDADE</p>

Seguimos a recomendação metodológica de Moreira e construímos nossa sequência didática em um formato muito semelhante a uma UEPS. A aula um dessa sequência, objetiva identificar os subsunçores potencialmente utilizáveis em nosso produto. Eles são descritos, detalhadamente na seção 2.1.1, no capítulo 2 dessa dissertação.

A aula dois foi idealizada para fazer o aluno externar seu conhecimento prévio, sendo ele relevante ou não para o prosseguimento da sequência. Nela, também propomos situações-problema, em nível introdutório, levando em conta esses - até esse ponto pretensos - subsunçores identificados. Foi possível apresentar, de alguma forma, todos os tópicos previstos na sequência didática. Evidentemente, em forma de conceitos gerais e em termos simples.

Dando prosseguimento, na aula seguinte, usamos uma exposição oral e recursos de simulação computacional para aprofundar alguns desses conceitos gerais. São planejados exemplos mais complexos que exijam alguma articulação entre os conceitos expostos no encontro anterior.

Na aula quatro, buscamos o que Moreira chama de *reconciliação integrativa*¹⁴. Encontramos, no laboratório de física, a oportunidade de realizar, em uma única atividade, o aprofundamento dos conceitos básicos de física ondulatória, discussões, junto aos estudantes, sobre a importância da experimentação na construção dos conceitos físicos e de reconhecer indícios de aprendizagem significativa (que podem servir como avaliação do processo educacional). Retomamos a mediação direta do processo em mais uma aula expositiva, em forma de debate (no encontro seguinte), para, então, finalizar a sequência didática com um teste escrito que compõe o processo avaliativo.

3.2 Materiais didáticos produzidos

Para realizar nossa sequência didática foram produzidos os seguintes materiais didáticos (disponíveis no apêndice único) para os alunos: uma lista de exercícios (A2) sobre o conceito de período e frequência, definição de pulso e de onda. Dois textos relacionados com o experimento: um texto preparatório (A3) e um roteiro para ser usado na atividade experimental (A4). Um teste prévio (A1) e um teste final (A2).

O teste prévio foi desenvolvido com o objetivo de reconhecer alguns subsunçores¹⁵ que poderiam ser trabalhados ao longo das aulas e, baseado no resultado obtido por cada estudante, construir os grupos para a atividade experimental. Além disso, as questões desse teste que tiveram respostas muito variadas foram reutilizadas no teste final.

¹⁴Segundo o autor: “do ponto de vista instrucional, é um princípio programático da matéria de ensino segundo o qual o ensino deve explorar relações entre ideias, conceitos, proposições e apontar similaridades e diferenças importantes, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes. Em termos cognitivos, no curso de novas aprendizagens, conhecimentos já estabelecidos na estrutura cognitiva podem ser reconhecidos como relacionados, reorganizarem-se e adquirir novos significados. Esta recombinação de elementos previamente existentes na estrutura cognitiva é a reconciliação integrativa na óptica da organização cognitiva”.

¹⁵ Identificamos os seguintes potenciais subsunçores: conceito de intensidade sonora, conceito de consonância e dissonância, conceito de sons agudos e graves. Utilizamos apenas os dois últimos em nosso produto, pois já foram o suficiente para cumprir o objetivo do nosso trabalho.

A lista de exercícios é atividade programada para ser feita em casa (fora do horário de aula) e foi construída de tal modo a fazer que os alunos não só relembassem o que foi desenvolvido em aula, mas também pesquisassem por si próprios alguns conceitos não desenvolvidos em sala de aula. Ela é constituída de três partes: a primeira são exercícios que versam sobre o conceito de onda em suas mais variadas acepções (de caráter técnico e não técnico). A segunda parte são exercícios que versam sobre os conceitos de período e frequência. São descritas várias situações, algumas inusitadas, que só serão corretamente respondidas se esses conceitos forem razoavelmente bem compreendidos. E por fim são cobrados alguns exercícios sobre frequência e período de oscilação de uma corda, especificamente. No final dessa lista há duas questões, que devem ser respondidas após pesquisa, que versam sobre os tipos de propagação de uma onda (tema que não deve ser trabalhado em sala de aula). Há também um lembrete para o estudante não se esquecer de produzir um mapa conceitual com os conceitos desenvolvidos nessa aula.

O texto preparatório para o experimento tem como objetivo preparar o aluno para a atividade laboratorial planejada. Nele, há textos sobre o funcionamento de um violão (tipos de cordas usadas, número de cordas desse instrumento, diferença entre essas cordas, entre outros detalhes). Também é detalhado o funcionamento do aparato experimental a ser usado, bem como todas as ferramentas necessárias. Algumas dessas são providenciadas pelo próprio professor, outras por cada um dos alunos. Além disso, há uma seção sobre o conceito de harmônicos produzidos em uma corda de extremidades fixas. Essa é importante para justificar um dos procedimentos experimentais adotados na prática laboratorial. Ao final desse roteiro, há um questionário onde se pergunta sobre definições e conceitos expostos no texto, que tem como objetivo também garantir a leitura do roteiro pelo aluno.

O roteiro experimental foi utilizado apenas no dia da aula de laboratório. Ele está disponível para acesso no website do produto. Em forma de passo-a-passo, esse roteiro detalha cada uma das ações que devem ser tomadas para executar a atividade proposta. Uma vez colhidos os dados, há uma seção nesse roteiro que explica como deve ser feita a análise desses dados, em três

partes. Em cada uma delas se propõe alguma manipulação matemática, seja em forma de tabela ou gráfico, para que dali seja inferido algum resultado físico. Ao final, é proposta uma atividade para casa, na qual o estudante deve organizar tudo o que foi feito no laboratório em um relatório.

3.3 Ferramentas da internet

Criamos um repositório online para centralizar o acesso aos materiais didáticos, aos sites para simulações, ao material de apoio, ao cronograma de aplicação, ao teste prévio interativo e uma pesquisa de opinião sobre o projeto, a ser respondida pelos alunos participantes. O endereço desse site é bit.ly/ondulatória ou sites.google.com/site/introducaoondulatoria.

Disponibilizamos cinco links como material de apoio, três deles efetivamente utilizados em nosso produto, enquanto que os outros dois servem como curiosidades/aprofundamento sobre o tema. Os três links para materiais utilizados na sequência são para:

1. o software gratuito CmapTools, utilizado para produzir os mapas conceituais de maneira simples. Os alunos não foram obrigados a usar esse software, se preferissem poderiam fazer os mapas a mão.
2. o acesso à simulação “Ondas em uma Corda” do PHeT Colorado. Essa simulação foi utilizada na aula expositiva, mas foi pedido aos alunos, em duas ocasiões (na aula 2 e no texto preparatório para o experimento), que eles explorassem essa simulação afim de compreender o mecanismo de operação.
3. o acesso ao aplicativo para celular e tablet GuitarTuner.

Utilizamos dois *softwares* nas aulas expositivas, o WavePadAudioEditing PitchPerfect Musical InstrumentTuner¹⁶, e um no laboratório, o GuitarTunner. Esse último foi utilizado pelos próprios alunos na atividade laboratorial já que ele é um aplicativo que transforma um celular ou tablet em um frequencímetro (cuja qualidade depende da qualidade do aparelho). Os outros dois foram utilizados pelo próprio professor, na primeira aula, para analisar o comportamento de uma corda vibrante. O

¹⁶Ambos podem ser encontrados no site da NCH: <http://www.nch.com.au/>

WavePadAudioEditing é um software que representa os sons captados através de ondas transversais e o PitchPerfect representa esses sons através de números associados à frequência de oscilação da corda.

Utilizar o WavePadAudioEditing foi particularmente interessante, pois foi muito fácil mostrar aos alunos a relação que existe entre comprimento de onda e frequência de oscilação, para uma onda que se propaga com velocidade constante, em uma corda de extremidades fixas. Além de mostrar muito claramente as diferenças entre sons agudos e graves. Após essa exposição, o PitchPerfect nos serviu para associar a imagem pictográfica de uma onda transversal a um número que facilmente foi compreendido como a frequência de oscilação de uma onda.

3.4 Monocórdio

Foi construído, especificamente para esse produto, um aparato experimental de simples manipulação pelos alunos e com potencial exploratório sobre o comportamento de uma corda oscilante de extremidade fixas (vide apêndice A7). Esse aparato possibilita o estudo simultâneo de dois segmentos de cordas de tamanhos distintos e proporcionais (um para dois), cuja tensão pode ser regulada e conhecida. Dessa forma, é possível evidenciar as relações entre velocidade de propagação de uma onda com seus comprimentos de onda e frequência de oscilação.

O aparato constitui-se de uma base retangular de madeira que sustenta três parafusos com argola (vide foto 1). Como a distância entre eles não é a mesma, obtemos dois segmentos de cordas com comprimentos desiguais (indicados pelos números três e quatro na foto). Entre essas argolas passa-se uma corda de violão que é fixa em um reservatório (indicado pelo número 1 na foto 3). Nesse reservatório, há um orifício (indicado na foto pelo número 2) que permite que ele seja preenchido com facilidade. Também contamos com uma caixa de ressonância (indicado pelo número 5) que objetiva tornar o primeiro harmônico associado ao comprimento de corda¹⁷, emitido pelo segmento de

¹⁷ O frequencímetro usado, em geral, não registra uma frequência única na tela do celular ou tablet. Normalmente, a frequência mostrada oscila entre um número e o seu dobro. Isso acontece porque o aparelho registra o primeiro harmônico associado a corda vibrante e, na

corda maior, mais preciso do ponto de vista da mensuração pelo frequencímetro.



Foto 1: Aparato experimental montado. 1: Reservatório. 2: Orifício lateral para auxiliar o enchimento do reservatório. 3: Estrutura de madeira. 4: Corda de violão. 5: Caixa de ressonância.

Ao preencher o reservatório com água, podemos fazer uma boa aproximação em relação ao peso que este faz sobre a corda¹⁸. Assim, podem-se realizar medidas de frequência para diversas tensões diferentes. Essa é, em síntese, a atividade experimental proposta nesse produto.

Com esse aparato, também é possível explorar o significado e a função de uma caixa de ressonância. Ela tem a função de tornar o primeiro harmônico associado ao som emitido pela corda mais nítido para o frequencímetro, já que

medida que ela vai perdendo energia, surge com mais clareza o segundo harmônico, que é registrado pelo aparelho.

¹⁸ No roteiro disponível para os alunos, foi sugerido que isso fosse feito da seguinte forma: considerando a densidade da água igual a 1g/cm^3 e conhecendo o volume de água dentro do reservatório, determinamos a massa de água ali presente. Admitindo a aceleração da gravidade local como aproximadamente $9,8\text{m/s}^2$, usa-se $P=m.g$ para determinar o peso do reservatório. Esse é equilibrado pela força de tensão da corda que, em módulo, é igual ao peso.

ela reflete diversas ondas sonoras emitidas pela corda que viajam em direções diversas, “concentrando-as” em uma região menor. Ela foi particularmente útil na aplicação do nosso produto educacional, pois o ambiente onde foi realizada a atividade experimental era razoavelmente barulhento. Em um ambiente silencioso, essa caixa é dispensável.

Essa proposta pode ser bastante melhorada. Em nossos projetos iniciais, estava previsto a existência de um cavalete móvel (vide imagem 1) que permitisse variar o comprimento da corda vibrante, mas, infelizmente, por questões práticas, não foi possível realizar essa construção. A presença desse cavalete móvel permitiria ao aluno explorar ainda mais profundamente o funcionamento de um violão, o que serviria como substrato para discussões sobre os harmônicos produzidos em uma corda com extremidades fixas, permitindo a constatação empírica de outras consonâncias e dissonâncias perceptuais para além daquela adquirida na razão um para dois. Claro que isso implicaria modificações no roteiro experimental.

Apesar da falta de um cavalete móvel, as argolas instaladas podem ser giradas e provocarem um alongamento ou encurtamento nos segmentos de corda. Dessa forma, é possível explorar a consonância e dissonância de forma simples. Essa mobilidade das argolas, por outro lado, pode provocar travamentos e fazer com que os dados coletados sejam inúteis, do ponto de vista do que foi previsto no roteiro experimental. Por tanto, aconselha-se atenção.

Capítulo 4

Aplicação do Produto Educacional

4.1 Metodologia

O nosso produto educacional foi elaborado com base em alguns preceitos do método educacional prescrito pela teoria de Ausubel, na ideia da experimentação como instrumento didático-pedagógico (AZEVEDO, 2004) e nos indicativos de que o uso de tecnologias pode ser um facilitador na aprendizagem de ciências (MELO 2010).

Em nosso trabalho, seguimos as recomendações metodológicas do Moreira. Em seu trabalho *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas*, o autor propõe um método para a formulação de uma sequência didática em sete passos (descritos no capítulo 2 dessa dissertação). Ele baseia esse método, principalmente, na teoria de Ausubel.

Além de fazer uso da teoria da aprendizagem significativa, as UEPS utilizam também os mapas conceituais e diagramas V de Gowin, mas sem muito rigor (como no nosso trabalho) e discussões adicionais. Dessa forma, construímos um produto educacional fundamentado na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e nos guiamos, metodologicamente, na proposta das UEPS.

No endereço bit.ly/ondulatoria¹⁹, encontra-se o site desenvolvido para centralizar e organizar as atividades previstas para nossa sequência didática. Nele, encontra-se o cronograma das aulas, os materiais didáticos utilizados, informações sobre a composição dos grupos para a realização da atividade experimental, o teste prévio com os áudios necessários para a sua realização, o material de apoio, contendo diversas referências e simulações interessantes sobre o tema, e uma enquete avaliativa do produto. Esse site ficou disponível desde o início para os alunos.

¹⁹ Este site foi desenvolvido utilizando a ferramenta gratuita Google Sites. Endereço completo: <https://sites.google.com/site/introducaoondulatoria/>

Para identificar alguns subsunçores potencialmente exploráveis, utilizamos um teste prévio interativo (apêndice A1). Ele foi desenvolvido na plataforma GoogleForms e está disponível no site desse projeto educacional. Utilizamos o *add-on* Flubaroo para processar e avaliar as repostas dadas pelos alunos e atribuir a elas pontuações. Dessa forma, foi criado um *ranking* dos alunos com o qual formamos os grupos.

Para cada encontro, foi produzido um material didático. Eles se encontram no site do projeto e no produto educacional descrito nessa dissertação (apêndice único). O primeiro a ser utilizado foi uma lista de exercícios sobre os conceitos de período, frequência, tipos de propagação e definição de onda e pulso (apêndice A2). Nela, encontram-se situações-problema, questionamentos diretos sobre os conceitos trabalhados e propostas de pesquisa individual sobre conceitos não trabalhados em sala de aula. As situações-problema dessa lista buscavam explorar a capacidade do aluno de relacionar os conceitos trabalhados em sala de aula com situações inusitadas. Dessa forma, incentivamos o senso crítico e a relevância do que foi exposto nos encontros. Além disso, pedimos a construção de um mapa conceitual sobre o que foi aprendido. O objetivo foi de hierarquizar os conceitos básicos de física ondulatória de maneira a tornar clara a relação entre eles.

Foram produzidos dois roteiros experimentais (apêndices A3 e A4), um para preparação do aluno para a atividade experimental, e outro, para atividade propriamente dita. O texto preparatório para o experimento oferece uma descrição do que vai ser desenvolvido em laboratório, quais instrumentos serão usados e uma breve explicação teórica sobre os conceitos físicos utilizados na prática. Ao final desse roteiro, há um questionário avaliativo que objetivou garantir a leitura do mesmo.

O roteiro experimental detalha em três partes o que deve ser feito no laboratório. Em formato de passo a passo, e com exemplos de tabelas e resultados, os alunos puderam desenvolver a atividade sem muita interferência do professor. Como o objetivo dessa atividade era a de permitir que os alunos manipulassem um aparato experimental e dali tirassem conclusões baseadas em um roteiro pré-produzido pelo professor, este cumpriu o papel de

mantenedor do bom andamento da atividade, interferindo o mínimo possível na prática dos alunos. Vale ressaltar que esse roteiro já estava disponível no site desde o início da sequência didática.

Incluimos o uso de instrumentos tecnológicos em todas as etapas do nosso produto. Utilizamos simulações computacionais do PHeT Colorado, *softwares* de processamento de sinais sonoros nas aulas teóricas e *apps* de freqüencímetros para celular e tablet, na atividade experimental. Buscamos com isso não apenas viabilizar as atividades, mas também facilitar a aprendizagem.

Como instrumentos de avaliação, usamos um teste final (apêndice A5), baseado no teste prévio realizado no início da sequência didática, os mapas conceituais desenvolvidos por cada aluno ao longo da sequência didática e as respostas dadas às perguntas do roteiro experimental. Nosso objetivo com isso era diversificar o máximo possível a avaliação para que fosse possível verificar indícios de aprendizagem significativa, em acordo com a prescrição ausubeliana segundo a qual as avaliações devem ser capazes de discernir a aprendizagem significativa da mecânica.

4.2 Objetivos e hipótese de trabalho

O projeto foi construído partindo da hipótese de que o uso de conceitos musicais adquiridos de forma intuitiva podem ser subsunçores para a construção de conceitos físicos abstratos, no estudo da física ondulatória.

Constituem objetivos gerais desse trabalho:

- I. Estudar o possível impacto positivo que a introdução de aparatos experimentais, manipuláveis diretamente pelo aluno, permite alcançar na melhoria da aprendizagem significativa de conceitos básicos de física ondulatória.
- II. Estudar o possível impacto positivo que a manipulação experimental permite alcançar no sentido de integrar, de forma mais efetiva, os conceitos físicos e suas definições matemáticas formais.

- III. Verificar se a introdução de aparatos experimentais é capaz de tornar as aulas de física mais interativas e voltadas para o cotidiano do aluno.
- IV. Utilizar conceitos musicais como subsunçores para a construção de conceitos físicos e utilizar o apelo da música como motivação para o aprendizado contextualizado de conceitos da física.

Nossos objetivos específicos são:

- I. Construir um aparato experimental/musical que integre conceitos de física ondulatória básica com definições matemáticas precisas, para que possa ser utilizado na sala de aula.
- II. Estruturar um material didático, na figura de uma sequência de aprendizagem, no qual os conceitos físicos de física ondulatória surjam em íntima conexão com suas definições matemáticas e com sua interpretação musical intuitiva.
- III. Utilizar os conceitos musicais de consonância e dissonância e de sons graves e agudos, como subsunçores para o aprendizado dos conceitos físicos de comprimento de onda, frequência, período de oscilação e velocidade de propagação de uma onda.

4.3 Relato de aplicação

4.3.1 Aula 1: Teste prévio

A sequência se inicia na data de 20/10/2015 com a aplicação de um teste prévio que visou: mensurar conceitos prévios sobre os temas que seriam abordados posteriormente; constatar se algumas hipóteses relacionadas a sensações auditivas eram comuns à maior parte dos alunos; e avaliar a sua capacidade de entender e interpretar situações experimentais. Esse teste também serviu para identificar os subsunçores: conceito de intensidade sonora, conceito de consonância e dissonância, conceito de sons agudos e graves. Além disso, para a realização adequada do teste, foi pedido a cada um dos alunos que trouxessem fones de ouvido, já que o laboratório de informática não dispunha de caixas de som.

Um pouco antes da chegada dos alunos, a sala de informática foi preparada para recebê-los. Com o auxílio do técnico do laboratório de informática, os computadores foram ligados e preparados (foto 4). Infelizmente, nem todas as máquinas foram adequadamente testadas, o que incluiria o teste de áudio, teste de acesso ao endereço do site e a visualização do vídeo contido no teste prévio. Isso acarretou alguns atrasos, já que nem todos os alunos conseguiram acesso imediato ao teste assim que chegaram.

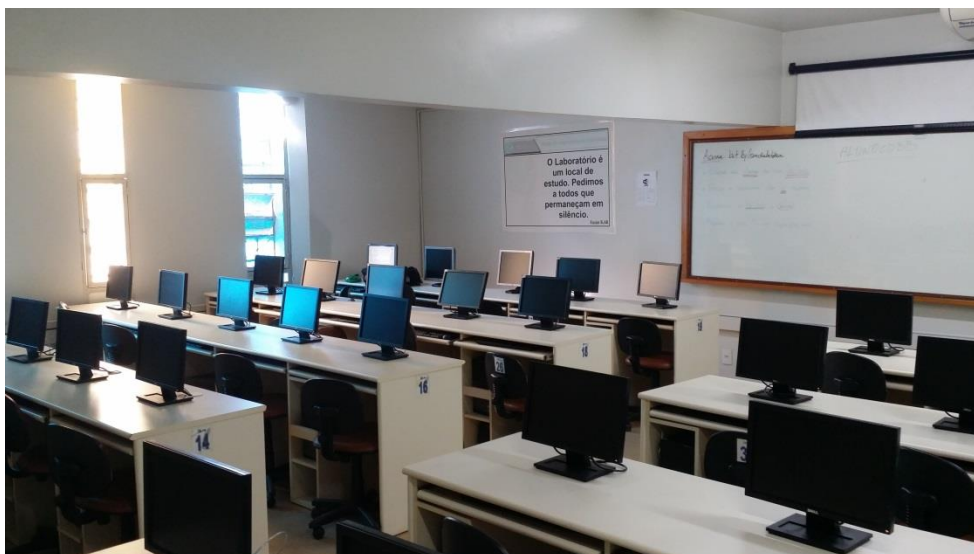


Foto 4: Sala de informática preparada para a chegada dos alunos para a realização do teste prévio.

Dezenove alunos, dos vinte e dois que compunham a turma completa, estavam presentes nesse dia. Com cerca de cinco minutos de atraso, os alunos começaram a chegar e foram posicionados, pelo professor, de maneira a deixar o maior espaço possível entre eles (foto 5). Ao menos cinco alunos apresentaram queixas de que não estavam conseguindo acessar o site ou não conseguiam escutar o áudio. Alguns outros não trouxeram os fones de ouvido, o que impossibilitou a execução da primeira parte do teste no tempo adequado. Estes esperaram outros colegas terminarem de usá-los para que, aí sim, pudessem iniciar o teste.



Foto 5: Posicionamento dos alunos no laboratório de informática.

Por conta do atraso e dos problemas técnicos enfrentados, não foi possível, nesta aula, fazer o tutorial de como confeccionar um mapa conceitual. Fizemos esse tutorial na terceira aula dessa sequência. Alguns alunos quando acabaram ficaram navegando ao bel prazer na internet, mas outros exploraram o site e inclusive interagiram com a simulação proposta na sequência didática. O único objetivo de relatarmos esses detalhes é o de esclarecer que é muito importante levá-los em conta para o bom andamento da sequência didática.

Uma breve análise do que se esperava obter como resposta em cada questão e o resultado obtido são detalhados a seguir. A cada questão do teste foi atribuído o valor de 1 ponto, exceto as questões 1 e 5, que eram abertas. Com o resultado desses testes exploratórios, foram montados seis grupos para a realização da prática experimental. Eles foram criados da seguinte forma: os seis alunos com as melhores notas no teste prévio compuseram grupos com os seis alunos com as piores notas, tendo sido o restante encaixado em cada grupo, respeitando critérios de relacionamento interpessoal e de nota total por grupo (ver imagem 10).

O teste prévio foi dividido em três partes, que serão detalhadas a seguir, e foi desenvolvido usando uma ferramenta gratuita do Google chamada GoogleForms. Nela, é possível, além de outras coisas, elaborar diversos tipos de questões (abertas, múltipla escolha, certo ou errado, etc.) e atribuir a cada

uma delas uma pontuação. O software também gera uma planilha de resultados, com gráficos de desempenho gerais.

A parte I do teste prévio se refere à sondagem sobre a percepção auditiva dos alunos em relação a alguns sons específicos, e qual é o grau de relacionamento que os alunos eram capazes de fazer entre essas percepções e os conceitos físicos. Os áudios utilizados nesse teste foram gravados usando o *software* GuitarPro²⁰. Foi utilizado, em todos os áudios, o sintetizador para o som de um violão de nylon. O áudio um é o som da corda menos espessa de um violão sendo tocada livre e o áudio dois é o som da segunda corda menos espessa de um violão sendo tocada, também livre²¹. O áudio três é o som de duas cordas tocadas simultaneamente, uma livre e outra “presa” em uma posição, de tal forma a produzirem sons muito semelhantes (consonância máxima). Já o áudio quatro é o som produzido por duas cordas tocadas simultaneamente, em dissonância. Os áudios cinco e seis são uma corda produzindo a mesma frequência, mas no primeiro com baixa intensidade e no segundo com alta intensidade.

As questões abertas um e cinco foram formuladas com o intuito de sondar algumas percepções prévias dos alunos em relação a questões envolvendo física ondulatória. Os resultados gerais das questões objetivas da primeira parte (questões dois, três, quatro e seis) são mostrados nos gráficos a seguir.

²⁰ Esse software sintetiza sons de diversos instrumentos.

²¹ Por livre queremos dizer que a corda do violão não está sendo fixadas, a não ser nas extremidades onde elas são fixas.

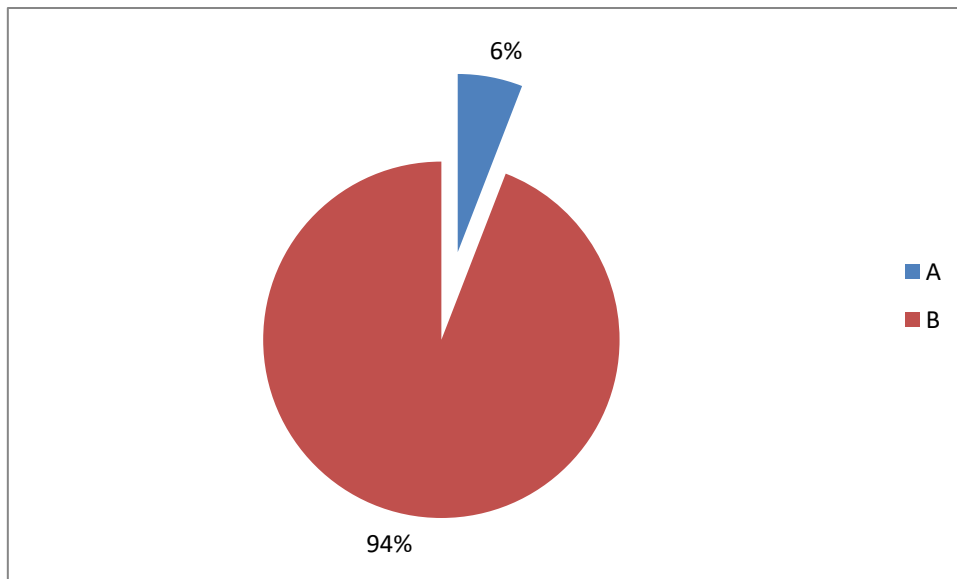


Imagem 1: Resultado das respostas dadas a questão 2. A alternativa b é a correta.

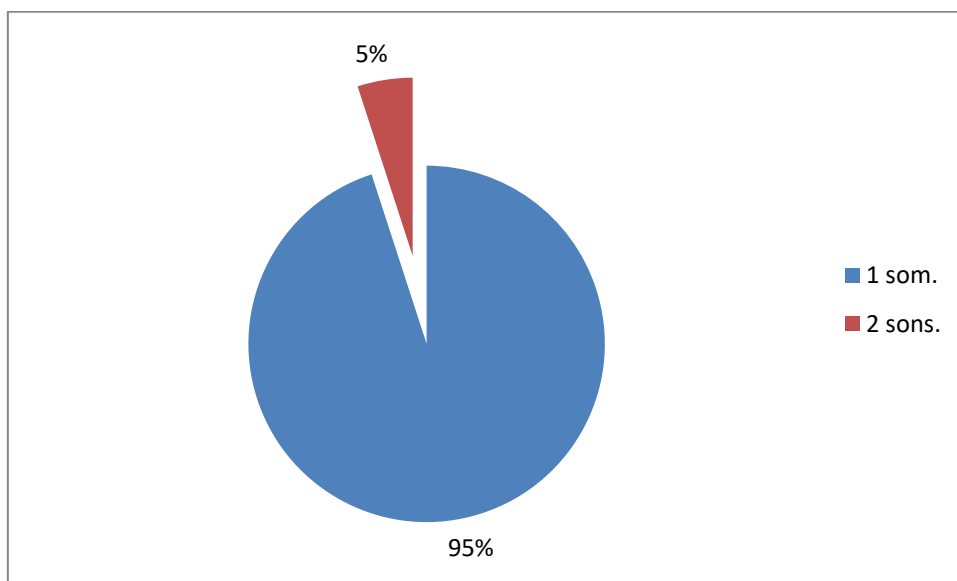


Imagem 2: Resultado das respostas dadas a questão 3. A resposta correta a essa questão é “1 som”.

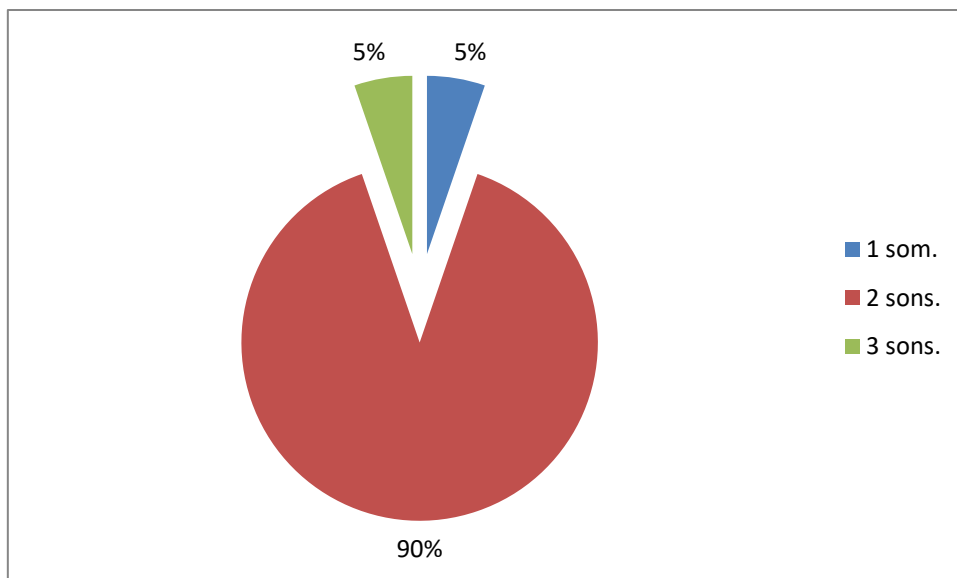


Imagem 3: Resultado das respostas dadas a questão 4. A resposta correta a essa questão é “2 sons”.

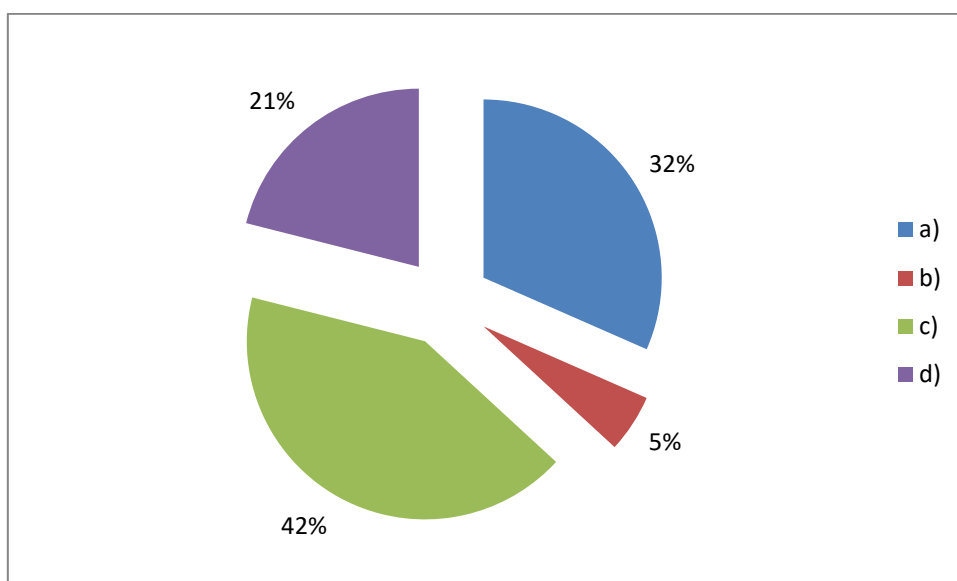


Imagem 4: Resultado das respostas dadas a questão 6. A resposta correta a essa questão é a letra a.

A parte II do teste prévio se refere à sondagem dos conceitos prévios sobre física ondulatória. Com o auxílio de um vídeo de um violonista executando uma música, foi perguntado, indiretamente, aos alunos se sabiam o que significava frequência de oscilação em uma corda com as duas extremidades fixas e qual é a relação dela com os sons agudos e graves.

Também foi perguntado, se entendem a sobreposição dos sons emitidos por cordas diferentes e como esses sons interagem um com o outro. Ademais, também se procurou sondar o conceito de intensidade sonora. Os resultados das questões sete, oito e nove são apresentados a seguir:

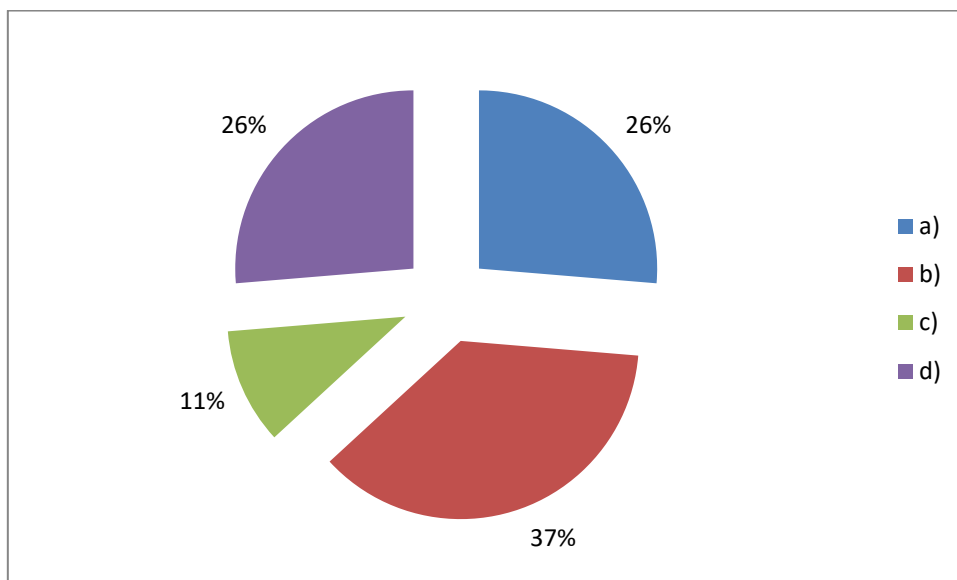


Imagem 5: Resultado das respostas dadas a questão 7. A resposta correta a essa questão é a letra d.

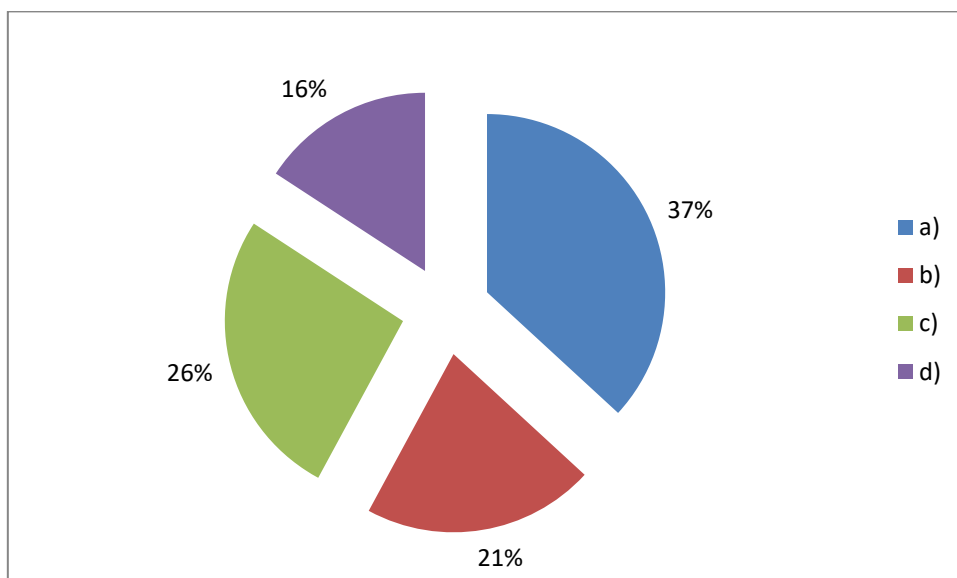


Imagem 6: Resultado das respostas dadas a questão 8. A resposta correta a essa questão é a letra d.

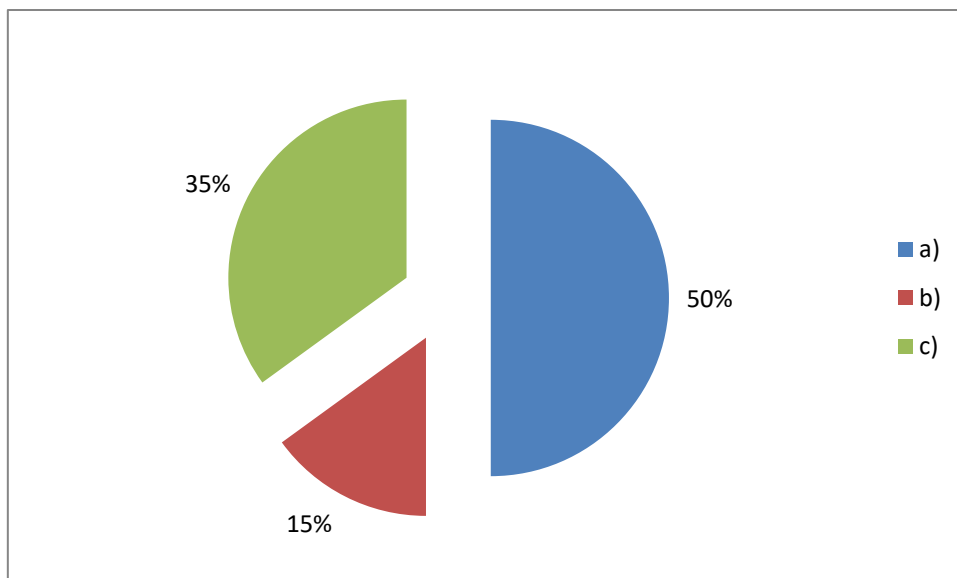


Imagem 7: Resultado das respostas dadas a questão 9. A resposta correta a essa questão é a letra c.

A parte III do teste prévio se refere à sondagem da habilidade de entender a montagem experimental que será usada mais adiante na sequência didática. Foram perguntados quais seriam os possíveis resultados experimentais, em determinadas circunstâncias, e qual é a melhor análise desses dados. Os resultados das questões dez e onze, que compõem essa parte, são mostrados nas imagens 8 e 9.

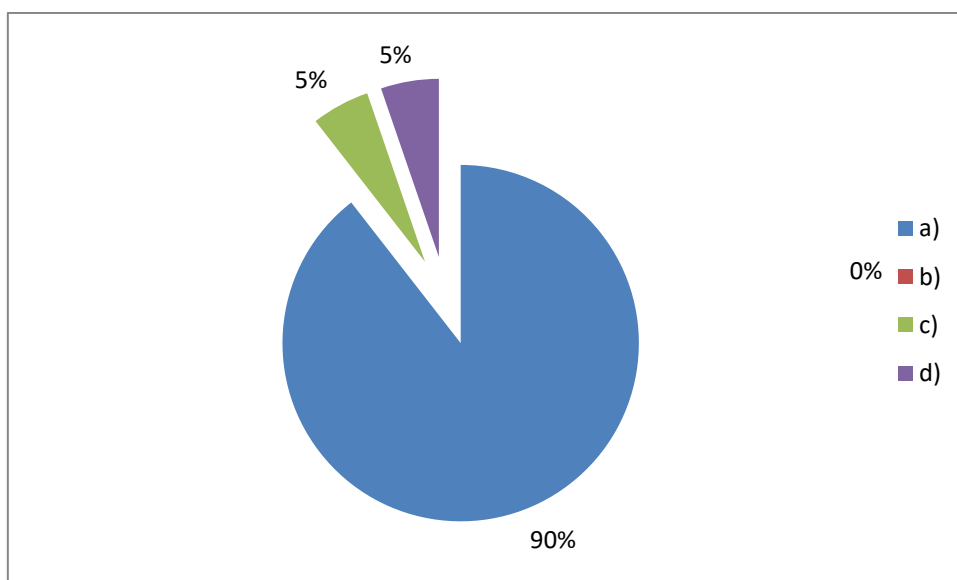


Imagem 8: Resultado das respostas dadas a questão 10. A resposta correta a essa questão é a letra a.

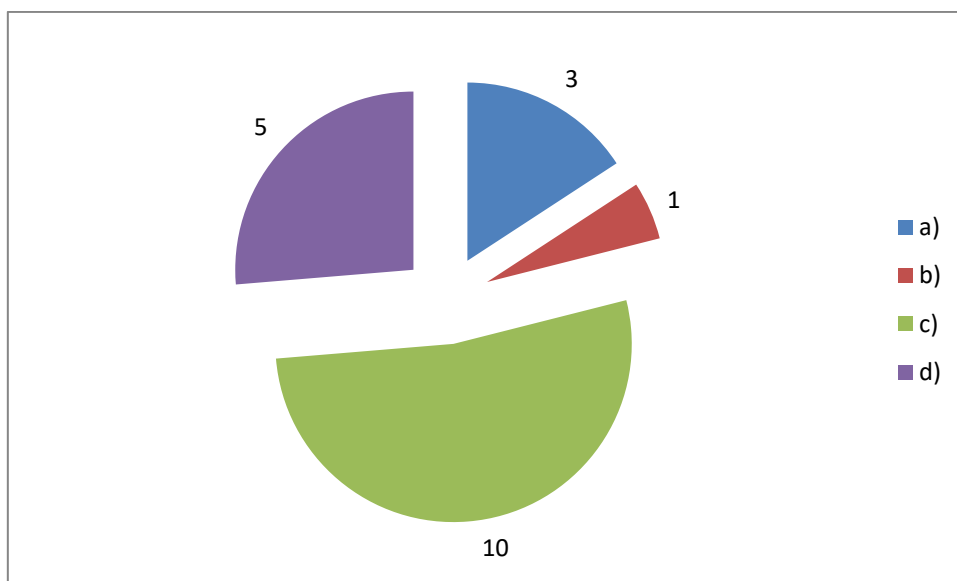


Imagem 9: Resultado das respostas dadas a questão 11. A resposta correta a essa questão é a letra d.

As questões sete, oito e onze, em particular, inspiraram nossa atenção, já que foi possível inferir, pelo resultado, que os questionamentos feitos não foram compreendidos de maneira adequada pelos alunos ou os conceitos físicos abordados não são conhecimentos prévios dos alunos. Seja como for, essas questões foram selecionadas para compor o teste final, no mesmo formato em que foram apresentadas no teste prévio, e o resultado comparativo nos ajudou a avaliar o ganho conceitual dos alunos que participaram integralmente do projeto.

O resultado individual de cada aluno foi utilizado para construir os grupos que fizeram a atividade experimental. O resultado individual e a montagem dos grupos são mostrados a seguir, na imagem 10.

GRUPO 1	Pontuação	GRUPO 2	Pontuação	GRUPO 5	Pontuação
Aluno 1	8	Aluno 5	4	Aluno 8	6
Aluno 2	3	Aluno 6	7	Aluno 9	4
Aluno 3	5	Aluno 7	5	Aluno 10	4
Aluno 4	não respondeu			Aluno 11	não respondeu
TOTAL	16	TOTAL	16	TOTAL	14
GRUPO 3	Pontuação	GRUPO 4	Pontuação	GRUPO 6	Pontuação
Aluno 12	7	Aluno 15	7	Aluno 19	5
Aluno 13	4	Aluno 16	3	Aluno 20	5
Aluno 14	5	Aluno 17	3	Aluno 21	4
		Aluno 18	3	Aluno 22	não respondeu
TOTAL	16	TOTAL	16	TOTAL	14

Imagem 10: Distribuição dos alunos em seis grupos baseado nas notas do teste prévio.

Nessa aula, identificamos que constituem subsunçores os conceitos musicais de consonância e dissonância, intensidade sonora, além dos conceitos de sons graves e agudos. Esses últimos estão relacionados diretamente com os conceitos físicos de amplitude e frequência de oscilação, enquanto que, os conceitos musicais de consonância e dissonância tem relação direta com os conceitos físicos de mesmo nome.

4.3.2 Aula 2: Aula expositiva

A segunda aula da sequência parte dos subsunçores identificados na aula uma constrói os conceitos físicos de pulso, onda, frequência e período de oscilação. Inicia-se apresentando aos alunos uma dinâmica utilizando um violão²². Estavam presentes, inicialmente, dezessete alunos, e, 30 minutos após o início da aula, chegaram mais dois alunos. Segue transcrição do início da aula.

O professor diz:

“Eu queria que você tentasse me responder quantos sons você consegue escutar, pode ser?”

²² Lembramos que não é preciso que o professor saiba tocar, pois essa dinâmica é realizada utilizando técnicas muito básicas. Caso o professor não tenha um violão disponível para realizar essa prática, recomenda-se solicitar aos alunos que tocam violão (caso existam) que executem os procedimentos. Damos ainda a opção de utilizar o *software* Guitar Pro, que emula sons de instrumentos, como alternativa.

Resposta dos alunos:

“Pode”

Professor replica:

“Melhor! Fecha o olho! Não quero que você seja influenciado pelo o que você vai ver.”



Foto 6: Professor demonstrando consonância e dissonância utilizando duas cordas de espessuras diferentes em um violão.

Apesar de algumas dificuldades técnicas com as caixas de som (produziram muito ruído), foi possível notar o que foi sondado no teste prévio: os alunos, em sua grande maioria, são capazes de identificar consonância sonora e distingui-la de dissonância. A transcrição a seguir da fala de uma aluna, ao escutar duas cordas de espessura diferentes, oscilando com mesma frequência, corrobora essa minha percepção:

“É o mesmo (som), só que um mais forte e outro mais fraco.”

Essa é uma evidência de que esse elemento intuitivo e perceptual pode ser de fato considerado algo comum aos alunos, o que significa, para nós, que pode ser utilizado como ponto de partida para a construção de conceitos físicos. Após essa sondagem, o professor parte para a utilização do *software* WavePadAudioEditing que representa graficamente o som captado.



Foto 7: Professor utilizando o *software* para mostrar as oscilações das cordas do violão.

Acredito que a utilização desse software foi muito acertada na sequência. Rapidamente os estudantes conseguiram visualizar que sons agudos têm frequências de oscilação maiores que sons graves. Segue transcrição de um trecho da aula, como exemplo:

Professor diz:

“Vou tocar uma nota mais fina agora, não é assim que a gente conhece? Nota mais fina?”

Alunos:

“Sim.”

Professor diz:

“O que você está vendo acontecer?”

Aluno:

“Que as ondas estão ficando mais juntas!”

O professor deu bastante ênfase nesse ponto, definindo frequência de oscilação e comprimento de onda, nesse momento, apenas qualitativamente. Para isso, o professor produziu sons graves e agudos, em seu violão, em diferentes cordas, e evidenciou para os alunos que a frequência aumentava, enquanto que o comprimento de onda diminuía, quanto mais agudo fosse o

som. De mais a mais, foi fácil demonstrar que a espessura da corda também estava relacionada com a frequência de oscilação da corda.

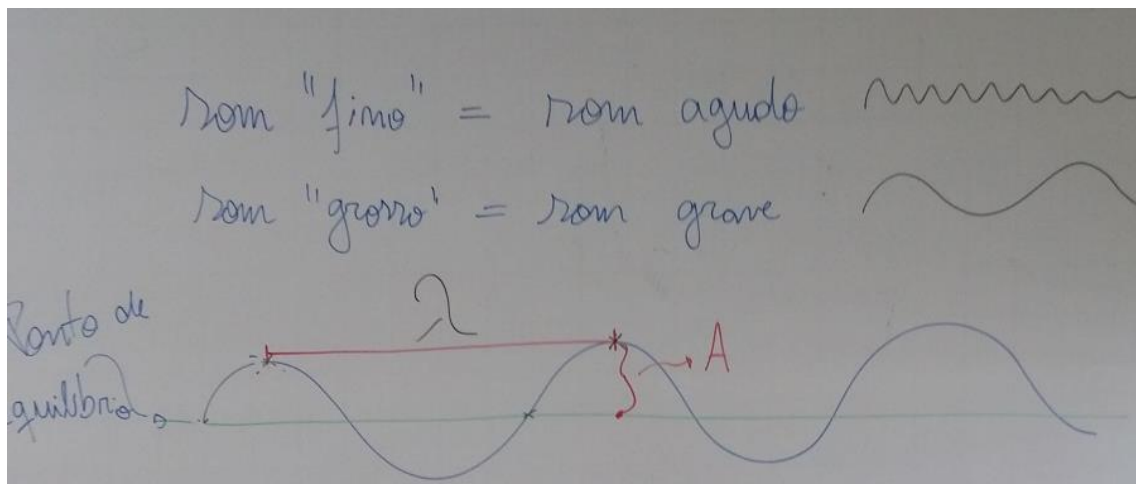


Foto 8: O que foi escrito no quadro branco para explicar frequência de maneira qualitativa e comprimento de onda.

Com esse *software* também foi possível definir amplitude de onda e relacioná-la com a intensidade do som. Segue transcrição de um trecho da aula que exemplifica isso:

Professor diz:

“Associa o som que você tá escutando com o que você está vendo ali. [...] À medida que a ondinha vai “morrendo” ela vai diminuindo de tamanho até ficar só uma listra horizontal, percebe isso?”

Na sequência, o professor utiliza uma corda comum para aprofundar a discussão. Ele argumenta que uma corda no violão vibra muito rápido, sendo assim, é muito difícil visualizar como elas oscilam sem o auxílio de algum instrumento. Então, com o auxílio de um aluno, ele mostra aos demais o que é uma fonte de vibração, frequência de oscilação, comprimento de onda, período de oscilação e como se formam os harmônicos (sem nomeá-los dessa forma).



Foto 9: Dinâmica utilizando uma corda comum para aprofundar a discussão sobre elementos de onda.

No fim dessa dinâmica, o professor diz que é possível produzir sons com esta corda. Basta esticá-la e quanto mais estica-la e, quanto mais esticada estiver, mais agudo é o som produzido. Com isso, todos os elementos básicos de uma onda, propostos no projeto, foram de alguma forma abordados de maneira qualitativa.

Em seguida, partimos para uma caracterização matemática do modelo apresentado. Para isso, foi utilizado outro *software* chamado PitchPerfect Musical InstrumentTuner, que apenas fornece a frequência, em Hz, do som captado pela placa de som do computador. Foi possível então, associar sons agudos e graves com “números grandes e pequenos”.



Foto 10: Professor utilizando o software PitchPerfect Musical InstrumentTuner.

A utilização desse outro software também trouxe resultados interessantes. O professor argumentou que o software demora um pouco para “entender” qual é a frequência de oscilação da corda, ou, nas palavras dele: “traduzir os rabiscos verdes produzidos pelo *software* WavePadAudioEditing em um número”. Esse mesmo atraso será observado pelos alunos mais adiante, na sequência didática, quando forem ao laboratório medir a frequência de oscilação dos segmentos de corda do monocórdio. Para ilustrar o comportamento da frequência de oscilação de uma corda oscilando, o professor mostrou que a corda mais espessa do violão produzia sons com frequências próximas a 80Hz e a mais aguda, por volta de 326Hz.

Para ilustrar o que foi desenvolvido, segue-se mais uma transcrição desse trecho da aula:

Professor diz:

“Qual é a unidade de medida desse número ali?”

Alunos:

“Hertz.”

Professor:

“Vocês já viram isso em algum lugar?”

Aluno:

“Eu já vi em programa de rádio. Programa de som, véi.”

O professor pondera o significado da frequência anunciada nas transmissões de programas de rádio e compara com as oscilações das cordas de um violão. Tipicamente, os programas escutados pelos alunos dessa turma são de estações que trabalham em frequências na ordem de 100 MHz. O professor aproveitou então, para explicar o funcionamento (superficialmente, claro) do rádio, acentuando que o aparelho de rádio faz uma conversão de ondas eletromagnéticas em frequências muito altas para frequências sonoras, ou seja, frequências audíveis.

Já é possível, nessa altura, construir uma estrutura matemática para relacionar esses conceitos mais adequadamente. Primeiramente, relaciona-se período de oscilação com frequência de oscilação. Para isso, alguns exemplos numéricos foram usados: número de vezes que uma pessoa se alimenta por dia, período de translação da Terra, período de rotação da Terra, “ola” numa partida de futebol e rotação de um motor de carro. Ao final da explicação e da resolução dos exemplos, o professor distribuiu uma atividade para casa com alguns exercícios sobre os temas abordados em sala. E assim, encerra-se a segunda aula.

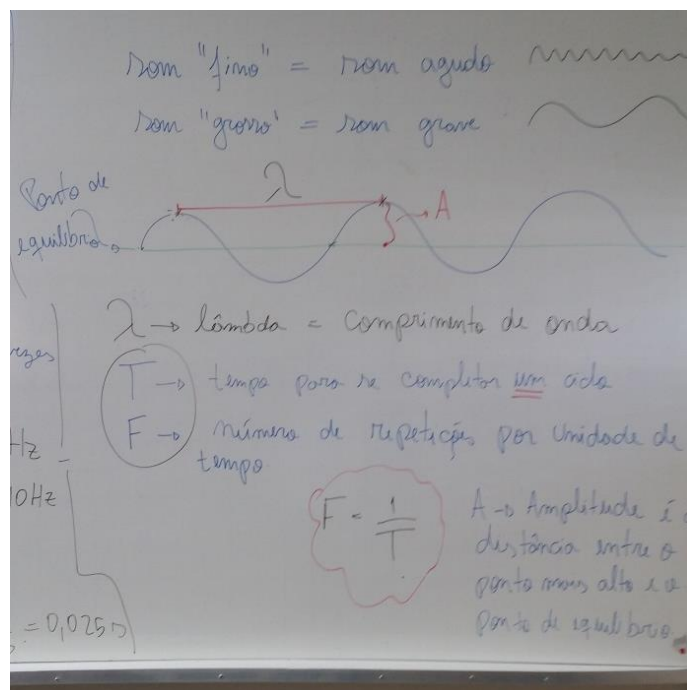


Foto 11: Quadro branco ao final da explicação dos conceitos básicos sobre ondulatória.

4.3.3 Aula 3: Aula expositiva

Na terceira aula da sequência, damos continuidade ao que foi desenvolvido no segundo encontro. Essa foi uma aula com duração de cinquenta minutos e objetivava apenas apresentar o conceito de velocidade de propagação de uma onda. Uma vez prontos os conceitos de comprimento de onda e período de oscilação, ficou fácil mostrar o conceito de velocidade de propagação. Para isso, o professor utilizou uma simulação do PhET Colorado de uma onda em uma corda²³.

²³ Link para a simulação https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/wave-on-a-string

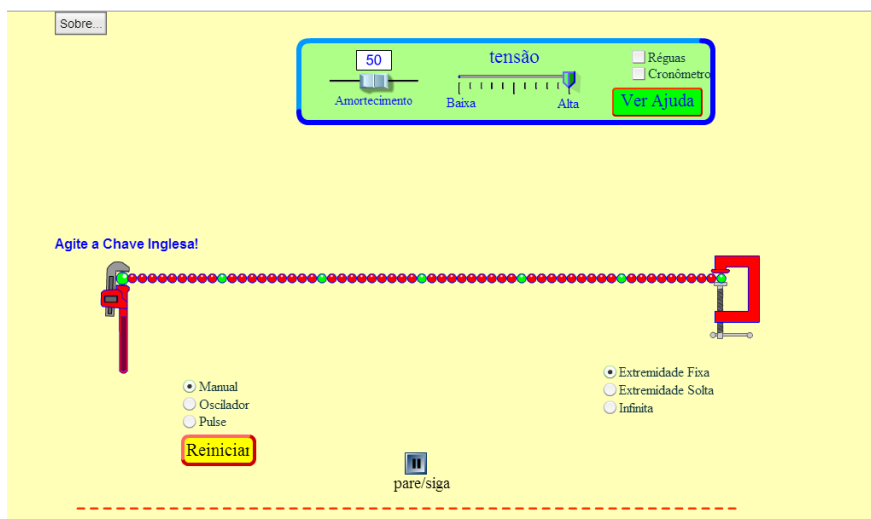


Imagem 11: Simulação utilizada para mostrar aos alunos o conceito de velocidade de propagação de uma onda.

Nessa simulação (vide imagens 11 e 12), é possível visualizar a propagação de um pulso em uma corda e modificar alguns parâmetros como amplitude, tensão, condições das extremidades e frequência de oscilação. Em torno disso, foi possível discutir com os alunos o conceito de pulso e onda, além de como uma onda transversal se propaga.

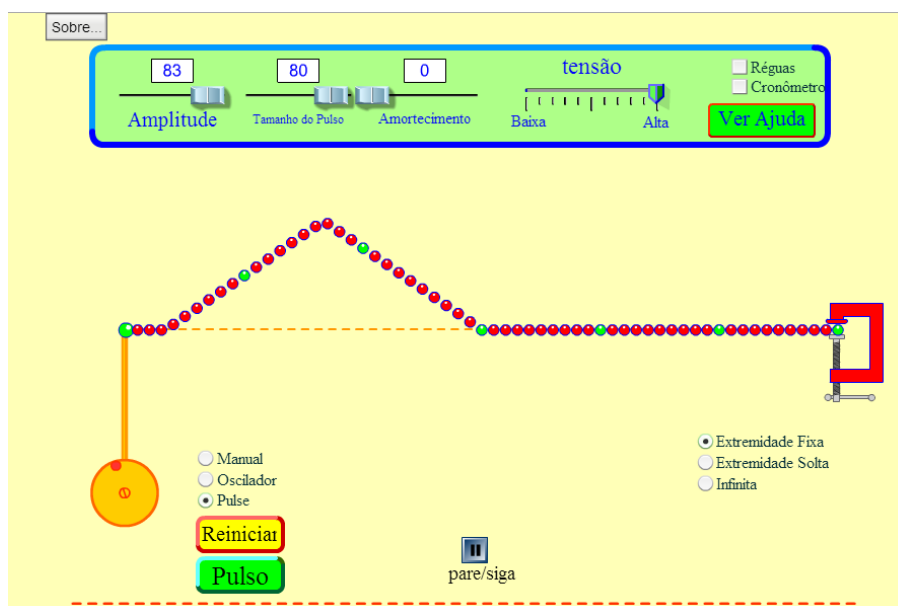


Imagem 12: Pulso em uma corda utilizando a simulação.

Baseado no que se vê no simulador, um pulso se propaga com velocidade constante, de modo que a velocidade de propagação em cada instante é igual à velocidade média em todo o movimento. Além da simulação, foi utilizado o quadro negro para propor uma descrição matemática do modelo de propagação de uma onda em uma corda. A velocidade foi definida como $V = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, com Δs tomado como sendo o comprimento de onda λ que, por sua vez, foi definido no roteiro experimental como o espaço percorrido por um pulso em um período, no caso, Δt . Assim, chegamos à expressão $V = \lambda \cdot F$, onde F é a frequência. O professor, em seguida, resolveu alguns exemplos numéricos simples e passou mais uma atividade para casa, dessa vez, utilizando o livro adotado pela escola.

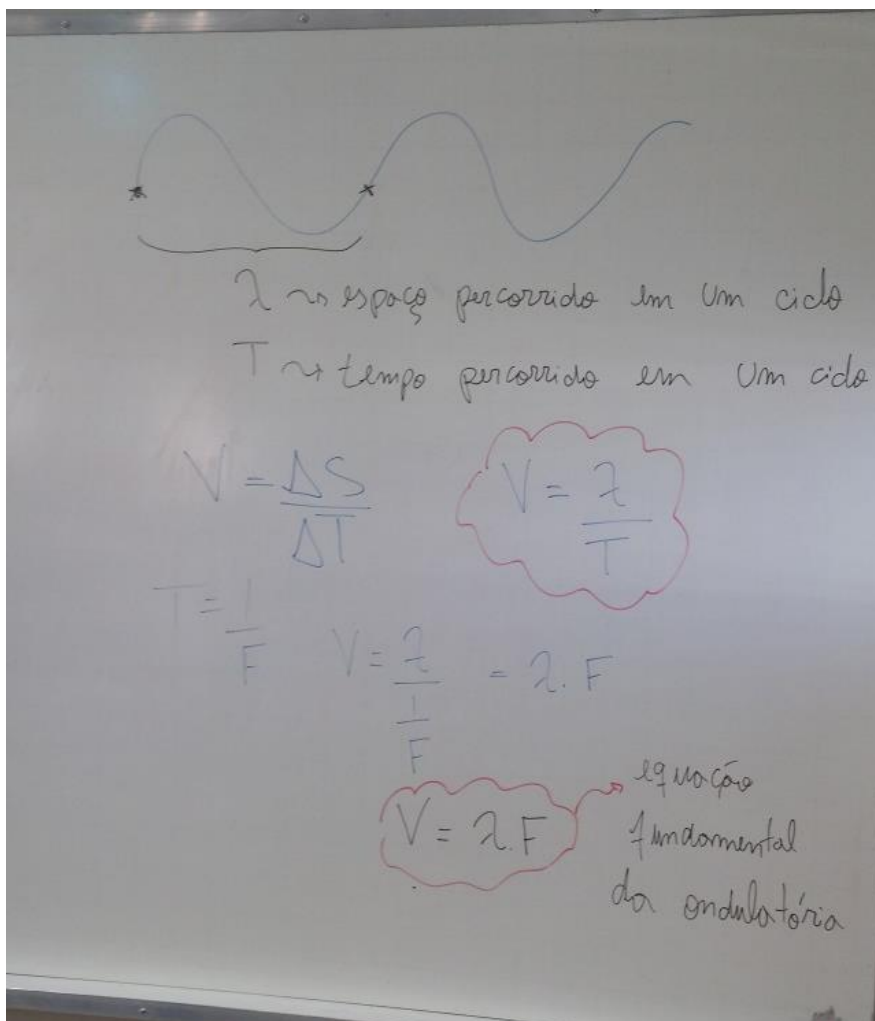


Foto 12: Quadro da aula 3 sobre velocidade de propagação de uma onda.

Ainda restaram cerca de dez minutos de aula após a exposição, então, aproveitamos para fazer o tutorial de como confeccionar um mapa conceitual e como o usaríamos no projeto. Como a turma já fazia mapas conceituais com o professor, a explicação de como o fazer foi bastante rápida. Ela foi feita utilizando o *software* CmapTools.

Os mapas conceituais foram usados, nesse projeto, apenas como apoio ao desenvolvimento das atividades do aluno. Dessa forma, dentro da sequência didática proposta, os mapas conceituais teriam que ser confeccionados exclusivamente pelos alunos e utilizados como consulta para a realização do teste final. Os mapas foram avaliados apenas para compor nota de participação do projeto e essa correção não foi muito criteriosa. De qualquer forma, acredito que eles servem, mesmo que indiretamente, como indicadores do engajamento (ou não) dos alunos no projeto.

Também foi fornecido aos alunos o roteiro pré-experimental, acompanhado de algumas orientações. Eles deveriam responder nove questões ao final do roteiro que objetivavam apenas a constatação da leitura do texto. Essa foi uma atividade obrigatória e foi dada muita ênfase sobre a importância da participação de todos.

4.3.4 Aula 4: Prática Experimental

A prática experimental aconteceu no laboratório da escola e estava marcada para as 07h30 da manhã. Por conta da distância entre o laboratório e as salas de aula, os alunos só chegaram, para efetivamente realizar a atividade, por volta das 07h50. Em cada bancada (havia quatro bancadas no laboratório), estavam disponíveis: um monocórdio²⁴, uma pipeta ou garrafa com água e um béquer de 100 mL (foto 13). À medida que os alunos chegavam, o professor distribuiu o roteiro experimental, que já estava disponível no site do projeto.

²⁴ Cada monocórdio possui, instalada, uma das cordas de um encordoamento padrão de violão de nylon. Dessa forma, cada grupo estudou uma corda com densidade linear diferente e, por conseguinte, coletou dados com valores distintos.



Foto 13: Disposição da bancada de um grupo para a realização da atividade experimental.

Apenas onze alunos, dos dezessete presentes no início da atividade, entregaram as questões do roteiro pré-experimental. Esse número baixo se deve, na opinião de alguns alunos, ao pouco tempo dado para a realização do mesmo. Talvez um número menor de questões ou um prazo maior fosse necessário em uma futura aplicação. Além disso, alguns alunos dessa turma têm o hábito de faltar à primeira aula e, por esse motivo, nem todos os grupos pré-determinados puderam ser montados, assim os alunos dos grupos incompletos foram absorvidos em outros grupos. Alguns alunos chegaram só as 08h20min e só puderam acompanhar a realização parcial da experiência (foto 14).

A realização da prática foi bastante interessante. O professor ficou alternando de grupo em grupo dando algumas instruções de como executar os passos propostos. O silêncio da turma, necessário para a realização da prática, foi excepcional e demonstrou, mais uma vez, o engajamento da maioria dos alunos no projeto.



Foto 14: Disposição de quatro, dos seis grupos, no laboratório.

Tivemos alguns problemas técnicos no decorrer da prática. Os grupos que ficaram com os monocórdios com as cordas mais espessas tiveram dificuldades em fazer as medições. Por conta da baixa tensão inicial a que as cordas estavam submetidas, as frequências não chegavam ao mínimo necessário para ser captado pelos dispositivos (em torno de 65Hz, em média). Isso frustrou, inicialmente, alguns alunos, mas, após a orientação do professor de iniciarem as medidas já com um litro de água dentro do reservatório, puderam dar prosseguimento normal à prática. Em futuras aplicações, poderiam ser excluídas as cordas mais espessas ou empregado um reservatório maior. Alguns dispositivos móveis também não funcionaram apropriadamente e tiveram que ser substituídos. Alguns alunos não baixaram o aplicativo GuitarTuner, como solicitado, mas esse foi um problema fácil de contornar já que a escola conta com rede de internet Wi-Fi.

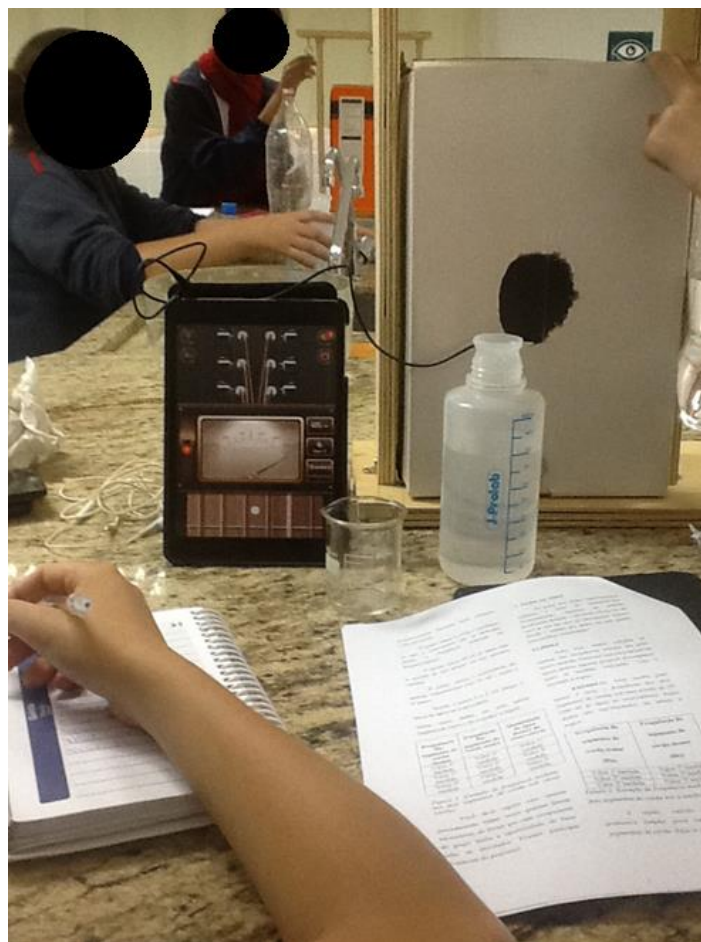


Foto 15: Grupo realizando as medidas com o auxílio de um tablet.

Os grupos deveriam seguir o passo a passo descrito no roteiro experimental, mas nem todos conseguiram realizá-los, pelo menos inicialmente. Além dos problemas técnicos supracitados, alguns alunos simplesmente não leram apropriadamente o roteiro e estavam tentando copiar o que o grupo vizinho fazia. Logo que isso foi detectado, o professor orientou os alunos a lerem com atenção o roteiro e garantiu que eles entendessem o que deveria ser feito. Todos esses problemas levaram a prática a demorar muito mais do que o previsto e apenas medida de frequência para cada tensão efetuada sobre a corda foi feita por grupo (no roteiro está prevista a realização de, pelos menos, três medições).

No roteiro experimental, consta a indicação que cada componente do grupo deveria fazer uma medida (varrendo todo o intervalo de tensões que havia sido estipulado). Isso objetivava incentivar a participação ativa de todos os alunos na prática, além de permitir que cada grupo tivesse uma coleção de

dados experimentais que aumentasse um pouco a acurácia das análises. Mesmo com poucos dados, as análises foram possíveis e as discussões subsequentes foram bastante interessantes, do ponto de vista de alcançar os objetivos propostos.

O professor discutiu, com cada grupo, separadamente, os resultados obtidos e as possíveis fontes de erro. Também foi dada a orientação de desenvolver a análise proposta no roteiro experimental. Como atividade para casa, então, os alunos deveriam responder as cinco questões propostas no roteiro experimental.

4.3.5 Aula 5: Discussão dos resultados e da experiência no laboratório

A aula (com 50 minutos de duração) posterior à prática experimental foi dedicada à discussão dos dados experimentais coletados por cada grupo e a uma breve avaliação da prática experimental. Nessa altura, a maioria dos grupos já tinha respondido as questões iniciais e puderam contribuir, de maneira mais madura, para a discussão. Em geral, eles acharam a prática extenuante, pois foram solicitadas muitas medidas de frequência para diferentes valores da tensão aplicada à corda e, nas palavras deles: “Só vamos ao laboratório fazer detergente e massa de modelar”. De fato, as práticas experimentais desenvolvidas habitualmente, por essa turma, são muito simples e apenas lúdicas. Além disso, essa foi a primeira vez que os alunos foram ao laboratório de física para realizar medições e, daí, tirar conclusões relevantes.

Outro ponto muito interessante, levantado pelos próprios alunos, foi o de que os resultados não foram exatamente aqueles que eles esperavam. Um grupo, inclusive, encontrou um resultado completamente oposto ao do esperado (frequências menores para sons mais agudos). O professor ponderou que, em um laboratório real, há sempre fontes de erro, humanos ou não, que enviesam, contaminam ou mascaram o resultado. Essa informação pareceu chocar os alunos, pois eles acreditavam que os laboratórios serviam para comprovar as teorias expostas e não poderiam, de maneira alguma, produzir resultados divergentes.

A discussão tomou um viés epistemológico e o professor explicou o papel da experimentação na produção científica. Para isso, utilizou alguns dados coletados por um grupo (ver foto 16) como exemplo e os analisou à luz da teoria exposta nas aulas dois e três, dessa sequência didática. Lá, foi dito que sons agudos correspondem a frequências mais altas, porém esses dados analisados nem sempre mostravam isso. Até certo ponto de tensão na corda, os resultados correspondiam à previsão, mas, a partir de determinado valor da tensão, começavam a divergir do esperado. Em seguida, para tensões ainda maiores, voltaram a corresponder ao esperado. Além do mais, não se via uma relação clara entre a tensão a que a corda estava submetida e a frequência emitida por ela. O professor pediu, então, para que os alunos descrevessem as condições em que foram coletados esses dados. Algumas respostas dadas pelos alunos:

“Havia muitas crianças gritando do lado de fora do laboratório.”

“O meu celular (usado para coletar os dados de frequência) capturou, diversas vezes, o som do monocórdio do outro grupo.”

Quantidade de água dentro do reservatório (L)	Frequência da corda menor (Hz)	Frequência da corda maior (Hz)	Período da oscilação da corda menor (em segundos)
0,5	147	107	0,006802721
0,55	311	115	0,003215434
0,6	320	120	0,003125
0,65	327	125	0,003058104
0,7	333	128	0,003003003
0,75	338	139	0,00295858
0,8	350	145	0,002857143
0,85	360	163	0,002777778
0,9	367	150	0,002724796
0,95	379	140	0,002638522
1	389	143	0,002570694
1,05	390	145	0,002564103
1,1	400	147	0,0025
1,15	415	155	0,002409639
1,2	455	180	0,002197802
1,25	452	173	0,002212389
1,3	439	158	0,002277904
1,35	445	160	0,002247191
1,4	452	160	0,002212389
1,45	465	162	0,002150538
1,5	470	167	0,00212766

Foto 16: Dados de um grupo que foram analisados nessa aula.

Eles foram convencidos de que as condições não eram as ideais e de que os dados que tinham em mãos não eram completamente confiáveis. Aproveitando o tom da conversa, o professor também comentou sobre a qualidade de captação dos aparelhos móveis utilizados como frequencímetro e a função da caixa de ressonância.

De maneira geral, os alunos se mostraram muito interessados em entender a prática experimental que haviam feito na aula anterior. Terminada essa conversa, o professor conduziu uma explicação de como deve ser resolvido, questão por questão, o roteiro experimental. Tiradas as dúvidas, foi marcada a data de entrega do relatório para a aula seis, na sequência desse encontro. O relatório é uma simples compilação das respostas às questões do roteiro e uma apresentação dos dados coletados.

4.3.6 Aula 6: Correção das atividades de casa

No penúltimo encontro, nos dedicamos a resolver os exercícios para casa e a tirar alguma possível dúvida sobre o conteúdo ministrado. O professor chamou os alunos, um a um, para apresentarem as atividades de casa (solicitadas nas aulas dois e três, dessa sequência). Apenas nove alunos fizeram todas as atividades e outros quatro deixaram de fazer uma das duas atividades. Esse número corresponde, aproximadamente, àqueles alunos que efetivamente participaram da prática experimental (entregaram o roteiro pré-experimental, participaram de toda a prática experimental e das discussões subsequentes). Também foram recolhidos os relatórios da prática experimental.

Aproveitamos essa aula para analisar os gráficos e tabelas produzidos. Poucos alunos apresentaram uma tentativa de esboçar um diagrama de velocidade versus tensão na corda, como solicitado. Foram aproveitados, então, como exemplos, as tabelas produzidas pelos grupos na aula anterior. De posse desses dados, o professor pôde exemplificar, sem muito rigor, a tendência dos pontos no gráfico a obedecerem a uma relação $f(x) = \sqrt{x}$. Convencidos disso, o professor propôs que a relação $V = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ (equação de Taylor), onde T é a tensão na corda e ρ é a densidade linear, poderia ser uma boa curva teórica.

Quase todos os exercícios foram resolvidos e as últimas dúvidas tiradas. Ao final do encontro, que teve 1h40 de duração, foi explicado como seria o teste final. Foi reforçada a permissão do uso do mapa conceitual individual para resolver a prova e exposta a possibilidade de imprimirem na escola seus mapas produzidos com o auxílio do *software* CmapTools.

4.3.7 Aula 7: Teste final

No último encontro, foi realizado o teste final. Ele teve como objetivo mensurar a aquisição dos conceitos abordados no projeto. Para isso, foram utilizadas três questões do teste prévio, duas questões do teste prévio modificadas (utilizando-se os termos corretos) e mais uma questão sobre a prática experimental. Os alunos que mandaram os mapas conceituais em forma digital tiveram seus mapas impressos em papel A3. Os demais, que

optaram por fazê-lo à mão, também tiveram acesso a eles durante a realização da prova. Cinco alunos não tinham feito o mapa conceitual.

Após o teste escrito, os alunos foram convidados a responder uma “pesquisa de satisfação”, digitalmente. Eles tiveram acesso ao computador da sala e a seus celulares e dispositivos móveis pessoais. Dezoito alunos fizeram essa pesquisa.

Capítulo 5

Discussão dos Resultados

Ao longo da aplicação de nosso projeto, recolhemos materiais para posterior análise. Desde impressões pessoais e opiniões dos estudantes sobre as atividades, até gráficos, tabelas e mapas conceituais. Todo esse material nos serviu para ponderar sobre as qualidades e defeitos do produto educacional em questão, porém, de forma alguma, ambicionamos validar o produto educacional no sentido de determinar de maneira definitiva seu desempenho no que se refere a ganhos de aprendizagem ou algo semelhante, pois não temos dados estatísticos o suficiente, nem confiáveis o suficiente, para alcançarmos tais conclusões.

5.1 Análise do teste prévio

O teste prévio foi produzido utilizando uma ferramenta gratuita oferecida pelo Google, chamada GoogleForms, não só pela facilidade de uso e confecção do material, mas pelo impacto positivo que aparentemente há na aprendizagem dos alunos ao utilizarmos esse tipo de recurso no ensino (HEIDEMANN, 2010, p. 33). Seguimos algumas orientações gerais sobre a produção de pré e pós-teste do guia da I-TECH (2008) que, apesar de não ser voltado para o ensino de física, nos forneceu relevantes contribuições.

Nesse teste, estávamos interessados em investigar e identificar o que já era conhecido pelo aluno em relação a suas habilidades instrumentais/operacionais, ao conhecimento rudimentar de música e sobre conceitos físicos que seriam desenvolvidos no projeto. As questões foram escritas de tal forma a deixar clara a intenção dos questionamentos, mas usando uma linguagem que cremos ser acessível a um aluno do 2º ano do ensino médio. Com isso, objetivamos identificar sobre qual base poderíamos edificar os novos conhecimentos sobre física ondulatória e, em minha análise, tivemos sucesso nesse objetivo. Essa etapa é fundamental, segundo Ausubel, para construir um processo onde haja aprendizagem significativa, pois novos

conhecimentos só serão corretamente integrados à estrutura cognitiva do aprendiz, de modo hierárquico e categórico, corretamente se partirem de subsunçoes presentes nessa estrutura (MOREIRA, 1999).

Para atingir esse objetivo, foi necessário identificar, ainda antes do teste prévio, qual seria o nível da linguagem mais apropriado para a sua confecção assim como utilizado nas aulas. Da mesma forma, também identificamos antes do teste prévio quais exemplos a serem citados seriam significativos, do ponto de vista experiencial, para os alunos. Identificamos, por exemplo, que sons altos e baixos não significavam para eles sons agudos e graves, mas sons de grande e baixa intensidade sonora. Sons graves e agudos para eles eram sons “finos” e “grossos”. Após reconhecer uma linguagem que julgamos apropriada, o professor pôde conduzir suas aulas de forma a intermediar o ganho conceitual dos alunos, ao migrar de uma linguagem que poderíamos classificar como de senso comum para uma mais técnico-científica.

Os dados coletados foram rapidamente tratados e na aula seguinte à aplicação do teste os grupos já estavam montados. Havia um receio da nossa parte em relação a predefinir os grupos, já que poderíamos incorrer no erro de formar grupos onde seus integrantes não cooperariam para o bom andamento da atividade por desavenças pessoais, mas tivemos uma grata surpresa ao perceber que eles receberam bem essa decisão. Isso muito se deveu, a meu ver, ao critério estabelecido para a montagem dos grupos: a pontuação alcançada no teste prévio. É importante destacar que eles não tiveram acesso à correção do teste (e nem ao próprio teste), depois de sua realização. Isto possibilitou a utilização posterior de algumas questões desse no teste final.

De maneira geral, esta atividade surtiu um efeito positivo na percepção dos alunos em relação ao conteúdo que seria estudado. Logo quando acessaram o *site* desenvolvido para nosso projeto, eles perceberam que as aulas que viriam não seriam como as que eles habitualmente assistem. Alguns alunos trataram de explorar o site (que tem diversas referências e materiais complementares), o que me pareceu um sintoma de entusiasmo em relação a esse projeto.

No capítulo 4, seção 4.3.1, quando relatamos a aplicação do projeto, detalhamos os resultados obtidos pelos alunos no teste prévio. Esses resultados serão comparados aos resultados do teste final, na seção 5.4.

5.2 Análises das aulas expositivas dois e três

Nas aulas expositivas, tentamos nos evadir do formato tradicional em virtude da natureza específica do nosso produto educacional. Apesar de não conseguirmos abrir mão completamente de uma aula expositiva, introduzimos nela interações com objetos comuns do cotidiano dos estudantes e utilizamos diversas ferramentas tecnológicas para nos auxiliar a estudar esses objetos. É importante salientar que a utilização dessas aulas expositivas não tradicionais e as ferramentas (de diversas naturezas) que as compõe são parte integrante da proposta do nosso produto educacional. Com isso, propiciamos um ambiente de descoberta possível para o aluno, bem diferente de uma aula tradicional que dificulta (ou até impossibilita) a investigação dos fenômenos físicos estudados, por afastá-los de objetos ordinários ou fenômenos conhecidos. Além disso, exploramos a íntima relação que a física tem com a música (BLEICHER, 2002, p.129), o que trouxe não só um elemento motivacional, mas também um tom mais prático para um conhecimento que pode parecer, sem o devido tratamento, um conhecimento insosso.

Especificamente na aula dois, para cumprir o papel de facilitador na aprendizagem, utilizamos um violão e uma corda de poliéster comum. Ao apresentar o violão, imediatamente os alunos voltaram sua atenção ao professor, o que possibilitou a participação de alguns alunos que nunca tinham participado de uma aula de física, ativamente, nessa turma. O ganho de utilizar esses objetos concretos em sala de aula foi refletido em algumas falas dos alunos, registradas na avaliação do projeto feita por eles, ao final da sequência didática. Na ocasião, ao serem perguntados se eles aprenderam mais com esse projeto do que em aulas tradicionais, alguns responderam:

Aluno X: “Sim. Porque foi mais dinâmico e eu aprendo mais na prática do que na teoria.”.

Aluno Y: “Sim. Acredito que o conteúdo de ondulatória esteja bastante ligado a conceitos visuais, como por exemplo, comprimento de ondas (o que nos ajuda a diferenciá-la de frequência), e também atividades lúdicas relacionadas a audição ajudam a diferenciar conceitos de grave e agudo que se aplicam em diversos aspectos desta matéria.”

Aluno Z: “Sim. Por que é mais uma interação, mais uma dinâmica para que não fiquemos somente na teoria de sala de aula!”.

É evidente que esses alunos não têm capacidade de avaliar a prática no que se refere o escopo de sua validade pedagógica no ensino de física, mas essas percepções reforçam o benefício de trazer para a sala de aula situações e objetos da vida cotidiana e fazê-los objetos de estudo sério.

Em nossas aulas expositivas, utilizamos alguns *softwares* para a análise e simulação de ondas. Fizemos uso de um computador disponível na sala de aula para expô-los a toda turma, simultaneamente, mas também utilizamos os celulares e tablets individuais dos estudantes, na atividade experimental. Segundo MELO (2010): “*estudos recentes mostram que a utilização de novas tecnologias no ensino em geral, e em específico no ensino da física, tem contribuído de forma significativa, para a compreensão por parte dos alunos dos conteúdos físicos*”, e isso se confirmou em nossa prática. Os alunos, aparentemente, assimilaram bem o conceito de comprimento de onda e sua relação com a frequência de oscilação, muito em virtude da identificação e utilização do subsunçor previamente identificado (conceito de sons agudos e graves). Afirmamos isso, pois em diversos momentos posteriores às aulas expositivas os alunos foram inquiridos sobre essa questão e todas as respostas recebidas pelo professor estavam corretas do ponto de vista conceitual. Uma fala de um aluno, também registrada na avaliação do projeto, colabora para nossa crença nas benesses do uso das TICs no ensino de física:

Aluno D: “Porque por meio desse projeto, podemos usar objetos eletrônicos para pesquisa e podemos ver realmente como funciona as cordas oscilando”.

Especificamente em relação à aula três, conseguimos alcançar o objetivo de construir o conceito de propagação de velocidade de uma onda com base nos conceitos que foram construídos na aula dois (comprimento de onda e período). A utilização da simulação computacional, também cumpriu um papel positivo no sentido de ampliar a variedade de comportamentos que ficou limitada, na aula dois, por termos nos utilizado apenas o violão e a corda de poliéster. Do ponto de vista das UEPS, a aula três cumpriu uma função semelhante ao passo 4 (descrito no capítulo 2) uma vez que os conceitos de onda e velocidade de propagação de uma onda foram abordados, de fato, em um nível de abstração mais elevado do que aquele que nós havíamos utilizado na aula dois.

Em relação ao engajamento dos alunos na realização das atividades propostas, tivemos uma turma dividida. Aproximadamente um terço da turma realizou todas as atividades propostas nas sete aulas da sequência didática. Outro terço da turma deixou de entregar pelo menos uma atividade. E um último terço da turma não fez nenhuma atividade ou apenas uma atividade. Essa divisão se refletiu nos resultados do teste final comparativamente aos do teste prévio. Aqueles que participaram integralmente do projeto apresentaram um rendimento maior comparados com aqueles que não participaram, mas isso será detalhado na seção 5.4 deste capítulo.

As aulas expositivas cumpriram seu objetivo de conexão seja como organizador prévio seja como parte do processo de formação dos conceitos físico a partir dos subsunçores identificados.

5.3 Análises da prática experimental

Essa prática, dentro da sequência didática, foi a mais surpreendente para mim, pois alguns resultados e comentários dos alunos foram completamente não previstos por nós. Ela foi idealizada com o intuito de facilitar a relação entre os conceitos teóricos e objetos cotidianos, dando ao estudante uma sensação de utilidade para aqueles conhecimentos (SERÉ, 2003). Afinal, o objetivo de um laboratório didático é suscitar nos alunos a necessidade da utilização de argumentos mais adequados e completos para explicar aquilo que eles estão observando (VILLANI, 2003).

Os estudantes dispunham de dois textos relativos à experiência, um para ser lido e resolvido antes da experiência e outro que foi utilizado no laboratório. Esses materiais foram desenvolvidos baseados nos subsunçores identificados nas atividades anteriores. Ademais, já sabíamos que o ambiente de laboratório de física era completamente novo para esses alunos e aproveitamos isso para verificar indícios de aprendizagem significativa, o que, de fato, aconteceu durante essa prática.

No texto preparatório para o experimento, fornecemos explicações sobre o funcionamento de um violão e de nosso aparato experimental. Tivemos o cuidado de expor as informações com uma linguagem que acreditamos que tenha sido acessível e com informações que suscitam necessidade de investigação mais aprofundada. Por exemplo, ao explicar como as cordas de um violão funcionam, escrevemos: *“Se você já toca algum instrumento de cordas sabe como é difícil atingir e manter a afinação correta quando o encordoamento é novo”* e mais adiante *“[...] Por isso não estranhe se você encontrar no seu aparato experimental uma corda enferrujada ou amassada, está tudo em ordem!”*. Com intervenções dessa natureza, nós procuramos incentivar o estudante a ser mais crítico em relação ao fenômeno estudado e alguns deles relataram que, após a prática, reconheceram alguns elementos trabalhados em sala de aula quando tocaram um violão ou assistiram alguém tocar. Isso é um indício de que o texto introdutório alcançou o objetivo de ser um bom organizador prévio inclusive para a atividade experimental propriamente dita.

Já no roteiro experimental, redigimos questões que direcionavam a determinadas conclusões, mas não ficaram claras quais conclusões deveriam ser alcançadas. Como produto dessa escolha, observamos resultados com a “cara” de um estudante em formação inicial. As respostas dadas por eles, foram bastante criativas e mostram uma tentativa de articulação entre os conceitos adquiridos nas atividades anteriores de maneira integrativa, como

previsto no passo 6 de uma UEPS. Faremos uma análise mais detalhada desses resultados a seguir²⁵.

Analisamos, como exemplo, três alunos cujos dados coletados em laboratório estão apresentados nas fotos 17, 18 e 19.

Frequência da corda morna	Medidas de água	Frequência da corda morna
160 Hz	1L	68 Hz
150 Hz	1L e 50ml	118 Hz
173 Hz	1L e 100ml	65 Hz
152 Hz	1L e 150ml	64 Hz
151 Hz	1L e 200ml	63 Hz
157 Hz	1L e 250ml	70 Hz
145 Hz	1L e 300ml	65 Hz
160 Hz	1L e 350ml	69 Hz
158 Hz	1L e 400ml	67 Hz
152 Hz	1L e 450ml	62 Hz
159 Hz	1L e 500ml	65 Hz
157 Hz	1L e 550ml	67 Hz
156 Hz	1L e 600ml	64 Hz
169 Hz	1L e 650ml	67 Hz
171 Hz	1L e 700ml	66 Hz
161 Hz	1L e 750ml	66 Hz
163 Hz	1L e 800ml	69 Hz
163 Hz	1L e 850ml	68 Hz
168 Hz	1L e 900ml	67 Hz
164 Hz	1L e 950ml	70 Hz
169 Hz	2L	70 Hz

Foto 17: Dados coletados na atividade experimental pelo aluno S.

²⁵ Algumas alterações foram feitas no produto final depois que foram reconhecidos alguns defeitos, após a aplicação. Para fins de discussão dos resultados, são mostradas as questões originais, tal qual foram aplicadas aos estudantes participantes da aplicação.

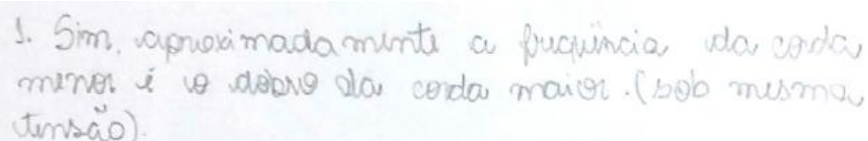
Corda Maior	Corda Menor
101 Hz	0 Hz
75 Hz	232 Hz
128 Hz	230 Hz
90 Hz	256 Hz
93 Hz	216 Hz
219 Hz	273 Hz
133 Hz	287 Hz
148 Hz	357 Hz
186 Hz	387 Hz
160 Hz	378 Hz
155 Hz	397 Hz
167 Hz	429 Hz
217 Hz	276 Hz
170 Hz	419 Hz
170 Hz	450 Hz
350 Hz	455 Hz
353 Hz	465 Hz
260 Hz	480 Hz
272 Hz	500 Hz
192 Hz	517 Hz

Foto 18: Dados coletados na atividade experimental pelo aluno A. As medidas foram feitas de 50 ml em 50 ml partindo da garrafa vazia.

Quantidade de água dentro do reservatório (L)	Frequência da corda menor (Hz)	Frequência da corda maior (Hz)
0,5	147	107
0,55	311	115
0,6	320	120
0,65	327	125
0,7	333	128
0,75	338	139
0,8	350	145
0,85	360	163
0,9	367	150
0,95	379	140
1	389	143
1,05	390	145
1,1	400	147
1,15	415	155
1,2	455	180
1,25	452	173
1,3	439	158
1,35	445	160
1,4	452	160
1,45	465	162
1,5	470	167

Foto 19: Dados coletados na atividade experimental pelo aluno T.

Na primeira questão do roteiro experimental se pergunta: “Você encontrou alguma proporcionalidade entre as frequências [médias] medidas no segmento de corda maior e o segmento de corda menor, sob mesma tensão, mesmo que aproximadamente? Se sim, qual?”. Algumas respostas dadas pelos alunos:



1. Sim, aproximadamente a frequência da corda menor é o dobro da corda maior. (sob mesma tensão).

Foto 20: Resposta a questão um do roteiro experimental pelo aluno S.

RESPOSTA: Sim, a proporção era de 2,6 (da corda menor para a maior) na maioria dos casos. Ou seja, para cada 1Hz na corda menor, a corda maior apresentava 2,6 Hz. APROXIMADAMENTE

Foto 21: Resposta a questão um do roteiro experimental pelo aluno T.

R: Aproximadamente um pouco menos que o dobro.

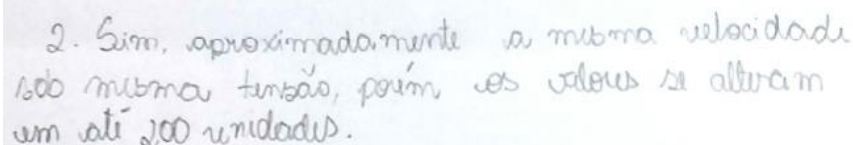
Foto 22: Resposta a questão um do roteiro experimental pelo aluno A.

O aparato experimental foi construído com seus dois segmentos de corda em proporção de dois para um. A intenção era a de, justamente, fazer a relação entre o tamanho do segmento de corda com a frequência por ele emitida. Em uma das etapas da prática, os estudantes mediram, com auxílio de uma régua, o comprimento dos dois segmentos. Observa-se uma constatação empírica de que quanto maior for o comprimento da corda menor, é a frequência de oscilação desta sob mesma tensão, além da existência de uma relação de proporcionalidade direta entre essas grandezas.

O aluno A estava com um aparato onde a corda instalada era espessa demais para as tensões aplicadas pelo reservatório. Isso acarretou alguma dificuldade inicial de captação da frequência, mas esse problema foi logo sanado com a intervenção do professor. Ao debater os resultados e possíveis fontes de erro, o aluno A relatou que diversas vezes seu equipamento mediu a frequência do aparato experimental de outros grupos o que, segundo ele, poderia explicar esse comportamento.

Na segunda pergunta do roteiro, após um tratamento simples dos dados (cálculo do período partindo dos dados de frequência) das tabelas supracitadas, estava escrito: “Para uma mesma tensão, você encontrou alguma

proporcionalidade entre as velocidades médias dos segmentos de corda, mesmo que aproximadamente? Se sim, qual?²⁶". Obtivemos como respostas:



2. Sim, aproximadamente a mesma velocidade sob mesma tensão, porém os valores se alteram em até 200 unidades.

Foto 23: Resposta a questão dois do roteiro experimental pelo aluno S.

RESPOSTA: Sim, a proporção era de 1,2 (da corda menor para a maior) na maioria dos casos. Ou seja, para cada 1 m/s² na corda menor, a corda maior apresentava 1,2 m/s². APROXIMADAMENTE

Foto 24: Resposta a questão dois do roteiro experimental pelo aluno T.

R: Não encontrei uma proporcionalidade entre elas, mas vi que cada vez mais que a tensão aumentava a velocidade também aumentava, porém era de uma maneira um tanto quanto aleatória de acordo com os dados recolhidos em laboratório.

Foto 25: Resposta a questão dois do roteiro experimental pelo aluno A.

Nossa intenção era conduzir o aluno a perceber que a velocidade depende apenas da tensão da corda e características físicas dela, como a espessura. Os grupos que conseguiram uma boa coleção de dados experimentais encontraram uma proporção aproximadamente de um para um, mas nenhum encontrou essa proporção exatamente. Isto foi fonte de discussão intensa após a aula de laboratório e foi extremamente rica do ponto de vista epistemológico, quero dizer, partindo dessas discrepâncias foi possível discutir, por exemplo, como é que a ciência é realizada em um laboratório e alguns desafios enfrentados por um cientista que se dedica a essa prática. O aluno A obteve uma grande discrepância em relação a teoria apresentada nas aulas expositivas, o que provocou grande estranheza, já que isso nunca aconteceu em toda a vida acadêmica desse aluno. Os benefícios dessa grata surpresa são refletidos no desempenho deste aluno no teste final, comparativamente com seu resultado no teste prévio.

²⁶ No roteiro pede-se para que com os dados de frequência e comprimento da corda se calcule a velocidade de propagação da onda em cada segmento de corda, utilizando a equação $v = \lambda \cdot f$. Como os alunos deveriam fazer várias medidas (de 3 a 5 vezes) da frequência de oscilação de cada segmento sobre mesma tensão, então pediu-se para se calcular uma média e utilizar esse valor médio para calcular a velocidade de propagação em cada tensão.

Percebemos também que não constituía conhecimento prévio o conceito (normalmente exigido no 1º ano do ensino médio) de velocidade escalar média. Evidência disso é a unidade de medida utilizada pelo aluno T em sua resposta (foto 24). Além disso, a resposta do aluno S (foto 23) é um tanto nebulosa, já que não fica claro o que ele quis dizer com “os valores se alteram em até 200 unidades” (provavelmente estava se referindo a variação entre o maior e o menor valor de velocidade quando se variou a tensão). Essas respostas mostram uma possível defasagem conceitual e, apesar desses conhecimentos prévios serem exigidos também em nosso projeto sua ausência não indica, certamente, falta de aprendizagem significativa. Reforço que essa atividade foi completamente nova para esses alunos que estavam acostumados a memorizar respostas e modelos de resolução. Parece claro que nesse ambiente novo, onde não há respostas padronizadas e treinadas à exaustão para um questionamento, as respostas poderiam ser bastante mais divergentes. No entanto, elas foram consideravelmente próximas, o que indica que houve compreensão dos fenômenos estudados. Considero satisfatória a demonstração, da maior parte dos alunos, de que eles perceberam que há uma proporcionalidade e que esta é próxima de um para um. Para mim esta é uma evidência forte de aprendizagem significativa.

As três questões seguintes foram bastante desafiadoras para a maior parte dos alunos dessa turma, por exigir conhecimentos matemáticos, ainda que simples, tecnicamente. De qualquer forma, os resultados das tentativas de analisar os dados coletados foram muito curiosos. Na questão três, perguntava-se, após a elaboração de um gráfico de tensão versus velocidade: “Os pontos que você representou são colineares (ou seja, existe uma reta única que une esses pontos)?”.

A small rectangular box containing the handwritten text "3. Não." in black ink on a light blue background.

Foto 26: Resposta a questão dois do roteiro experimental pelo aluno S.

RESPOSTA: Não

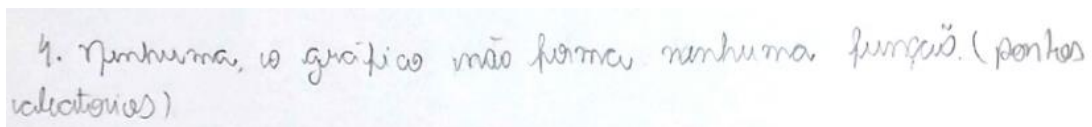
Foto 27: Resposta a questão dois do roteiro experimental pelo aluno T,

R: Não são colineares.

Foto 28: Resposta a questão dois do roteiro experimental pelo aluno A.

Infelizmente, não adicionamos uma reflexão sobre o motivo pelo o qual esses pontos não são colineares no roteiro experimental. Isso só foi feito na aula subsequente a essa prática. As reflexões resultaram na explicação de que os pontos não são colineares por alguns motivos: primeiramente por conta das condições não ideais do aparato experimental, instrumentos de medida, etc. Depois, comparando os resultados obtidos por todos os grupos, chegamos à conclusão de que a relação entre tensão e velocidade não deve ser linear mesmo, já que não só não há nenhuma evidência experimental disso -feita a ressalva de que os dados coletados na experiência que desenvolvemos com o monocórdio são ainda insuficientes para afirmar, com certeza, algum comportamento - como também as evidências tendem a demonstrar uma dependência quadrática. Isso fez parte do debate da aula 6.

Na questão quatro, foi perguntado: “Como você aprendeu na matemática, uma função linear representa uma reta no gráfico, assim como uma função quadrática representa uma parábola. Qual função que você conhece representaria os pontos experimentais que você marcou no papel milimetrado? Por quê?”. Já na questão cinco perguntamos: “Tente descobrir a função de velocidade de propagação na corda X a tensão sob a corda. Se necessário, represente mais pontos no papel milimetrado. Anote os passos que você usou para encontrá-la²⁷. As respostas dos estudantes S, T e A foram:



4. Nenhuma, o gráfico não forma nenhuma função. (pontos aleatórios)

Foto 29: Resposta a questão quatro do roteiro experimental pelo aluno S. Esse aluno não respondeu a questão cinco.

²⁷ No roteiro original, se propunha que os alunos selecionassem apenas 8 pontos dentre os 41 coletados (de 0ml até 2l, no reservatório). Percebemos que pedir isso foi um erro, pois não só ficou mal compreendido pelos estudantes, como também eram insuficiente, esses 8 pontos, para construção de um bom gráfico.

RESPOSTA: A função que chegaria mais próxima dos pontos experimentais marcados no papel seria a Função Seno. Pois como representado no papel milimetrado, essa função representa uma onda. E isso seria o mais próximo de uma função que eu conheço.

Foto 30: Resposta a questão quatro do roteiro experimental pelo aluno T,

RESPOSTA: Eu não consegui encontrar uma função de velocidade de propagação na corda e tensão sob a corda, pois como os resultados obtidos não foram condizentes com a realidade, o gráfico ficou desconfigurado. Porém, em condições ideais, seria formado uma Função Linear.

Foto 31: Resposta a questão cinco do roteiro experimental pelo aluno T.

R: Uma função seno, pois existem oscilações durante a reta.

Foto 32: Resposta a questão quatro do roteiro experimental pelo aluno A.

R: Tendo como princípio que o gráfico se assemelha à uma função seno seria algo parecido com $f(x)=\text{sen}(x)$; Como os valores não passam pelo 1(maior número para o seno) significa que a função foi multiplicada por um fração, que corresponde ao maior valor do gráfico, 13/1000. Em seu eixo x existem números fracionários, ou seja, deve haver algo acompanhando o x da função. Mesmo com essas especulações não consegui encontrar uma função exata pois certos valores estavam organizados de modo aleatório e/ou desorganizado o que dificulta encontrar a função respectiva ao gráfico.

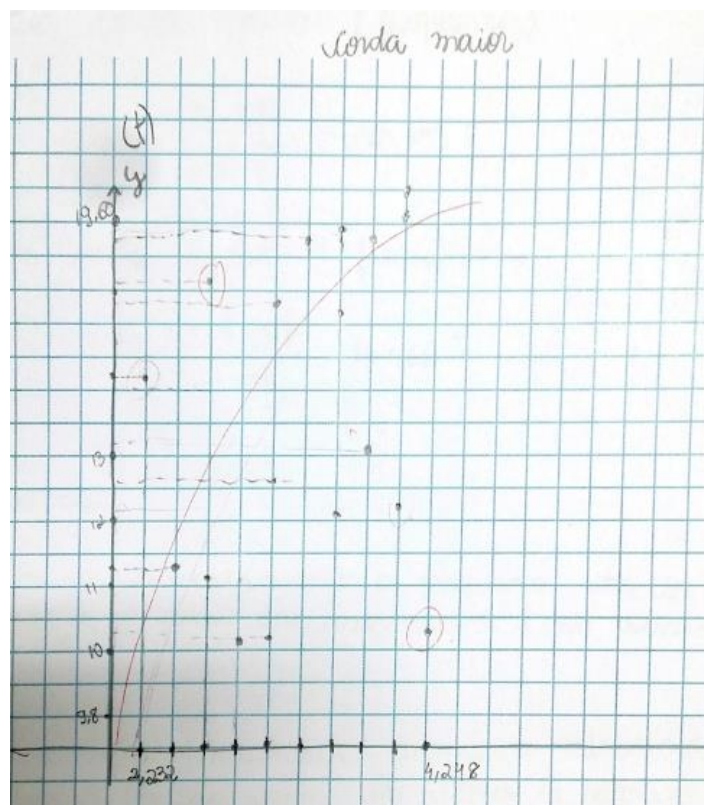
Foto 33: Resposta a questão cinco do roteiro experimental pelo aluno A.

A resposta do aluno S à questão número quatro demonstra uma inabilidade matemática e flagrante falta de treinamento, o que é reforçado pela resposta do aluno T. Deve estar claro que a intenção dessas perguntas não era avaliar a habilidade em tratar os dados ou tirar conclusões técnicas sobre o resultado, mas incentivar um espírito de investigação que os estudantes nessa faixa etária parecem não ter, além de relacionar conhecimentos que são íntimos e que são apresentados na escola média muito desassociados.

As respostas do aluno A são uma tentativa de encaixar o desenho clássico de uma onda (uma senoidal pura) em um contexto que nada tem a ver. De fato, não há nem periodicidade nos dados obtidos e nem expectativa disso acontecer caso a coleção de dados fosse mais extensa. Na disciplina de matemática, esses alunos foram expostos a um grande acervo de funções e diagramas que ultrapassam de longe a necessidade técnica requerida aqui.

Então, por que ninguém foi capaz de utilizar esses conhecimentos matemáticos quando eles foram requisitados? Talvez, a estrutura curricular atual favoreça um desmembramento tão grande entre as diversas competências e habilidades desenvolvidas em cada disciplina que a articulação espontânea por parte dos estudantes seja impossível. Some-se a isso a falta de treinamento específico no tratamento de dados experimentais e o resultado é o que se vê nas fotos dos gráficos obtidos pelos alunos representantes dessa turma, a seguir (foto 34 e 35).

(a)



(b)

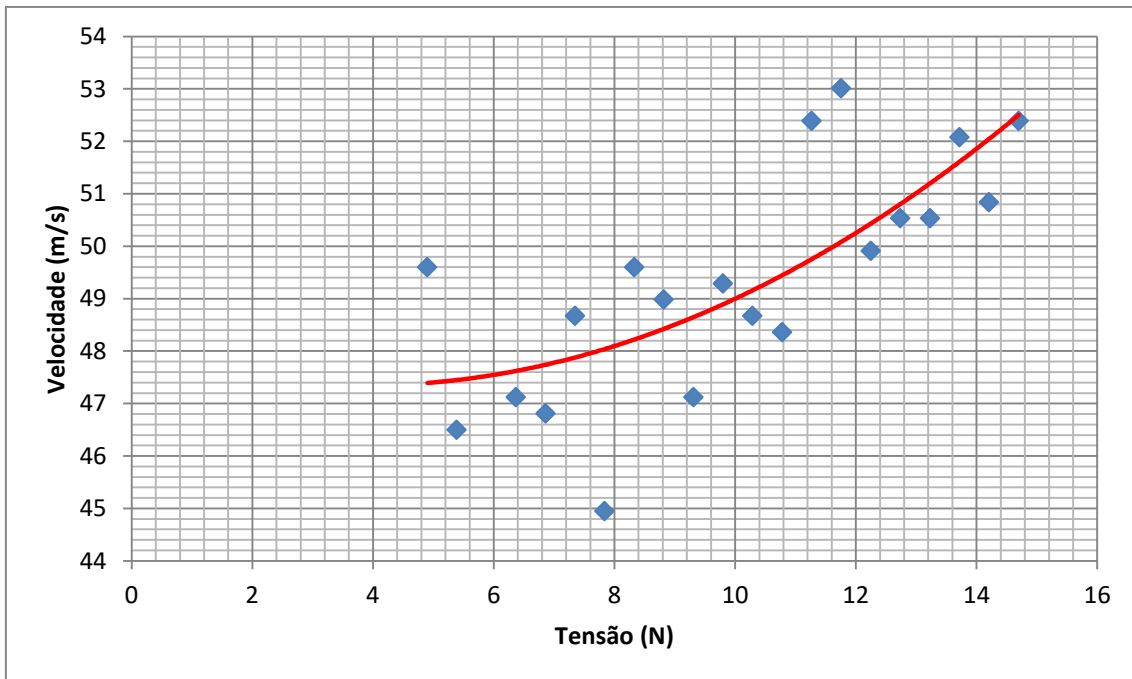
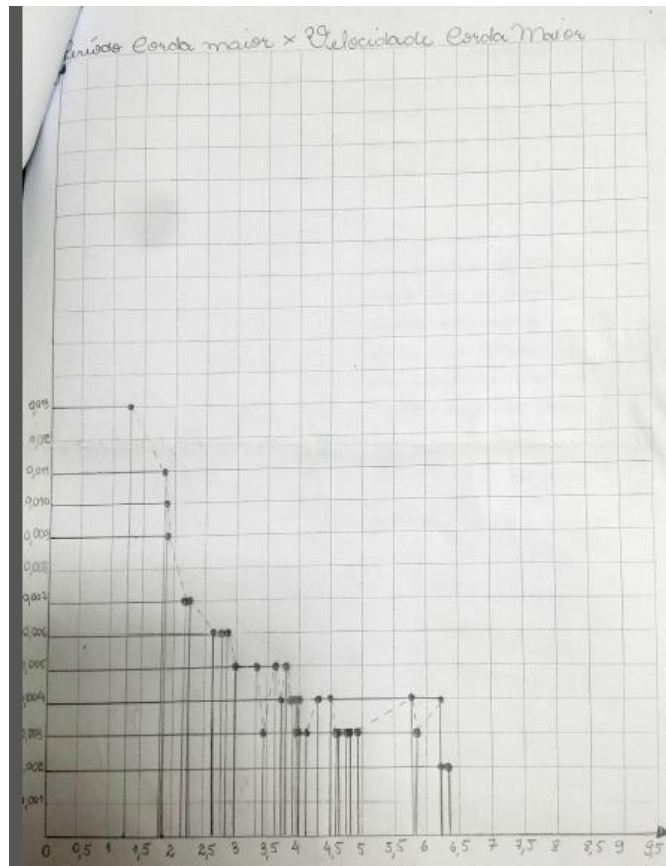


Foto 34: (a) Diagrama de TxV obtido pelo aluno S. Em vermelho, a [tentativa de] intervenção do professor explicando como analisar os pontos experimentais obtidos ao aluno. (b) gráfico feito pelo professor com os dados obtidos pelo aluno.

Na foto 34b, observa-se que os dados coletados foram muito ruins. Isso é explicado pelo fato de que o frequencímetro não registra bem valores de frequências baixas (menores que 70 Hz), e o monocórdio disponibilizado para o aluno S tinha instalado a corda mais espessa de um encordoamento padrão de violão de nylon. Esse foi um equívoco da nossa parte, pois as frequências produzidas por essa corda são demasiadas baixas para uma captação adequada pelo frequencímetro usado (por isso as medidas se iniciam com valores de 1 litro de água no reservatório). Recomenda-se em aplicações futuras, o uso apenas das cordas de nylon sem revestimento (conhecidas por cordas E, B e G).

(a)



(b)

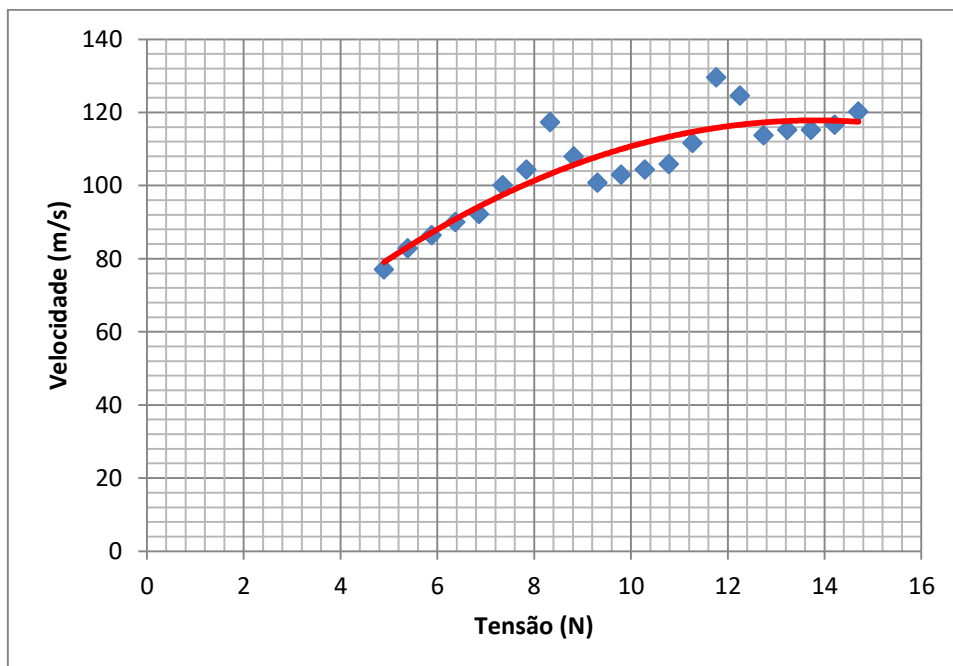


Foto 35: (a) Diagrama de Período x Velocidade obtido pelo aluno A. (b) Gráfico feito pelo professor a partir dos dados coletados pelo aluno A.

Em relação ao gráfico produzido pelo aluno A, observa-se que ele não representou as coordenadas requisitadas no roteiro, no papel milimetrado. Ele foi o aluno que registrou mais pontos experimentais para os dois segmentos de corda (33 no total) e, se fosse feito o que foi requisitado no roteiro, ele obteria uma razoável coleção de pontos. O fato dele não ter realizado corretamente essa etapa do roteiro muito se deve à má redação do texto do roteiro entregue para esses alunos. Correções foram feitas, a fim de tornar mais clara as instruções.

Do ponto de vista dos objetivos que desejávamos alcançar com essa atividade (tratamento dos dados coletados em laboratório), consideramos que nossa aplicação foi um fracasso. Há duas principais causas para isso. A primeira é que o roteiro não deixava claro que diagrama os alunos deveriam fazer. Até a parte três desse roteiro, se pedia ao aluno para analisar comparativamente os dois segmentos de corda vibrante, porém, ao pedir para que ele representasse os pontos experimentais no papel milimetrado, não ficou claro se eram dois gráficos a serem feitos ou, ainda, quais dados deveriam ser usados. Foram realizadas as modificações necessárias, no produto educacional final, para sanar esse problema. O segundo problema é que os alunos que participaram dessa prática não tiveram nenhum treinamento específico sobre tratamento de dados experimentais, além de não demonstrarem muita aptidão com as ferramentas matemáticas. Em aplicações futuras, recomenda-se fortemente dedicar algum tempo para prepará-los, nesse sentido.

Para produzir o roteiro experimental utilizado em nosso produto, fizemos vários testes em relação ao funcionamento do aparato experimental. Coletamos os dados e emulamos o comportamento de um aluno que obedecesse às orientações do roteiro. Assim, obtivemos o gráfico a seguir (gráfico 1) para o segmento de corda maior do aparato experimental, utilizando a segunda corda menos espessa de um encordoamento padrão para violão de nylon.

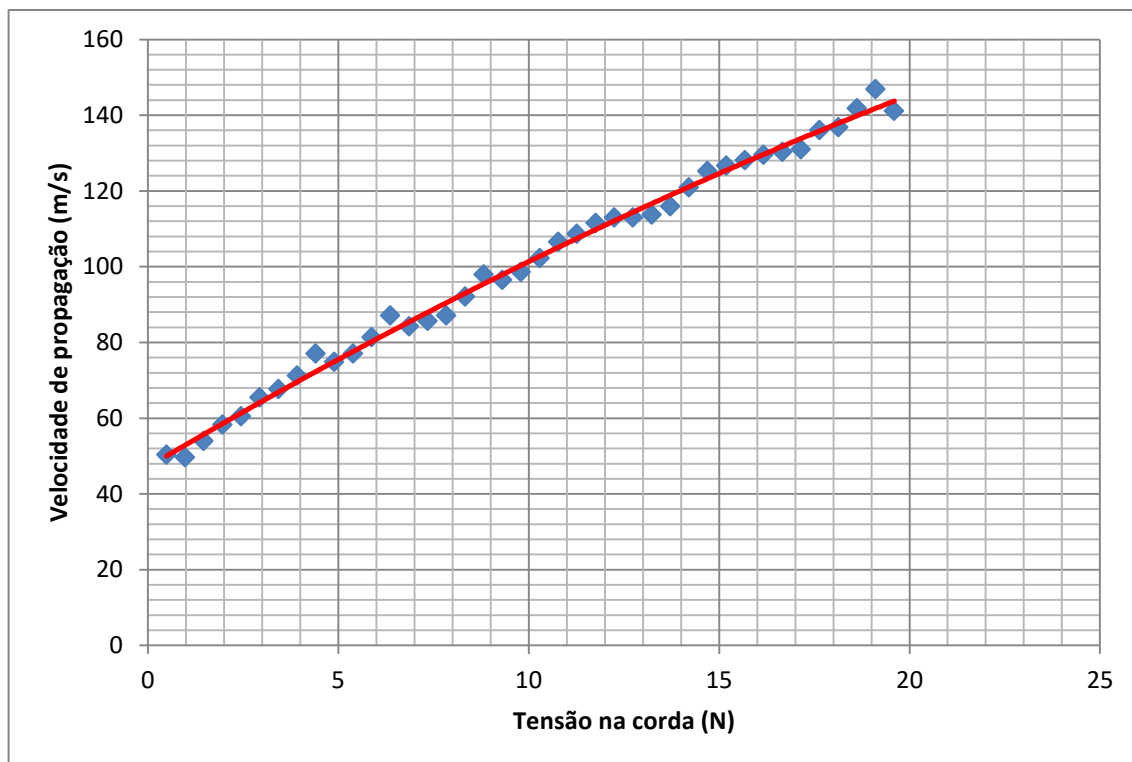
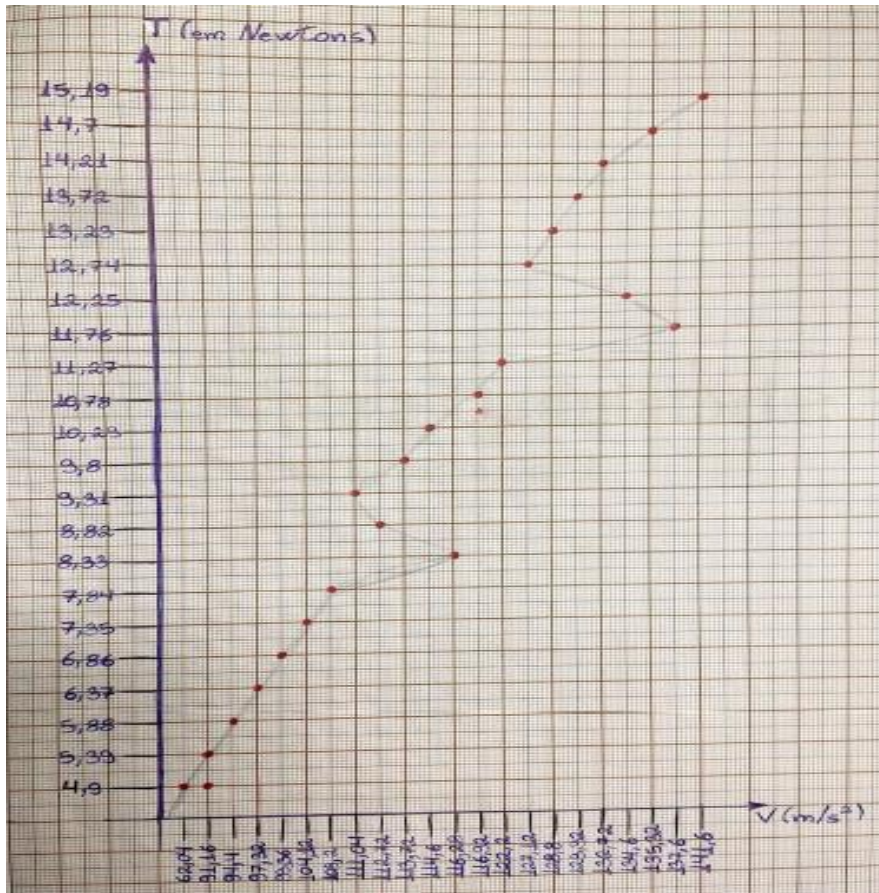


Gráfico 1: Gráfico produzido pelo professor como exemplo do que deveria ser produzido pelos alunos. Não há barras de erro nem determinação da equação da regressão, pois isso não estava previsto no roteiro.

Essa atividade foi idealizada com objetivo de proporcionar ao aluno um ambiente novo, onde ele pudesse demonstrar o que aprendeu em relação aos conceitos de física ondulatória trabalhados nas aulas anteriores. A intenção era a de constatar algum indício de aprendizagem significativa em relação a esses conceitos, o que não foi possível no caso da maior parte dos alunos participantes. Pedimos aos alunos que desenhassem gráficos de tensão versus velocidade e tentassem encontrar alguma relação matemática que pudesse explicar o comportamento geral dos pontos experimentais. À exceção, talvez, do aluno T, que produziu o diagrama da foto 36, o restante deu respostas insatisfatórias. Ainda é flagrante a imperícia do aluno T em relação ao tratamento matemático dos dados coletados, mas o comportamento que se desejava evidenciar (direta proporcionalidade) foi registrado. Apesar disso, em sua resposta o aluno T demonstrou que não compreendeu de maneira satisfatória esse resultado (foto 30 e 31).

(a)



(b)

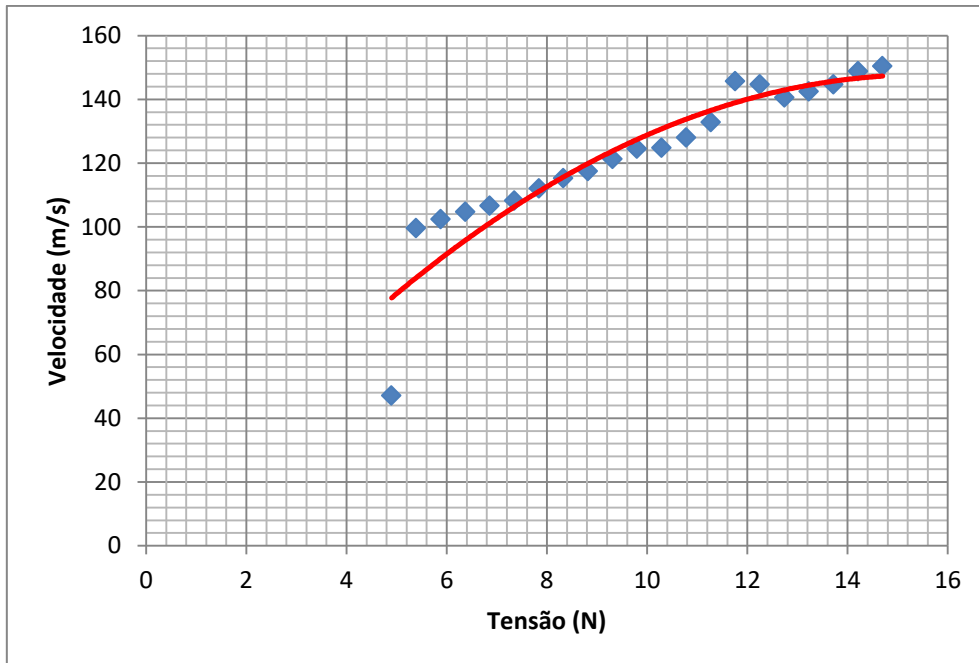


Foto 36: (a) Diagrama de TxV obtido pelo aluno T. (b) Diagrama realizado pelo professor com os dados coletados pelo aluno T.

De toda forma, partindo desses diagramas, o professor, na aula seguinte, conduziu uma discussão sobre esses resultados. Considerando todos os problemas identificados e as severas limitações dos alunos no que diz respeito a tratamentos de dados experimentais e ferramentas matemáticas, ainda assim foi possível sugerir como solução a equação de Taylor, que descreve a velocidade de propagação em uma corda de extremidades fixas em função tensão na corda e de sua densidade linear, como $V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$. Essa função, em condições ideais, descreveria todos os pontos experimentais. É importante salientar que a equação de Taylor foi postulada no livro-texto deles, sem maiores considerações de ordem fenomenológica apenas como uma oportunidade de, uma vez mais, conduzi-los a resolução de problemas puramente matemáticos carentes de qualquer significado físico. Eles ficaram fascinados com o fato de que essa equação podia ser encontrada no laboratório e que reflete um comportamento de um objeto real. O ganho conceitual dos estudantes nessa prática, para mim, foi imensurável.

Talvez fosse interessante, em aplicações futuras desse produto, dedicar um tempo para treinar os alunos na aquisição de dados e construção de gráficos. Dessa forma, o resultado obtido teria um significado maior para eles do que o verificado nessa aplicação. De toda forma, essa foi à atividade que mais impactou a percepção dos estudantes em relação à efetividade dessa sequência didática. Seguem algumas falas de estudantes, registradas na avaliação do projeto:

Aluno E: “Consegui compreender que os cientistas não acham os conceitos pela primeira vez só depois de muitos experimentos e de várias análises. Sendo assim foi um pouco complicado de entender na hora, mas depois de feito o relatório e o mapa mental tornou mais fácil do que seria se fosse uma aula comum.”.

Aluno F: “Ter um noção do conteúdo é bem diferente de vivenciá-lo, tanto pelo interesse de experimentar quanto por você poder tirar suas próprias conclusões a respeito do que foi observado.”

5.4 Análise do teste final

O teste final foi elaborado aos moldes do teste prévio, porém, contendo mais questões discursivas e incluindo uma questão sobre a prática experimental realizada. Para a realização desse teste final, escolhemos permitir o uso do mapa conceitual, elaborado individualmente pelos estudantes, ao longo das aulas, como consulta. Ao permitir o uso dessa consulta, foi necessário prestar muita atenção na elaboração da prova. Ela não podia ser uma prova apenas conceitual, de forma que os estudantes apenas copiassem o que tinham escrito no mapa. Muito pelo contrário, a intenção desse teste final é avaliar o real sucesso do processo de aprendizagem. Ou seja, garantir aqueles estudantes que, de fato, desenvolveram seu mapa conceitual de maneira sistemática (como solicitado na aula três) e, no processo, fizeram suas próprias associações seriam privilegiados quando comparados àqueles estudantes que copiaram de alguma fonte.

Propositalmente, a construção do mapa conceitual não foi acompanhada pelo professor. Não esperávamos mapas conceituais muito completos e corretos. A intenção de usá-los foi verificar, através deles, indícios de formação de novas categorias e/ou a complementação de categorias já existentes, dentro da estrutura cognitiva do estudante (sintomas de aprendizagem). Em uma aplicação futura, aconselha-se que o professor acompanhe essa produção, talvez em um formato em que isso seja feito na própria sala de aula (nos primeiros ou últimos dez minutos de cada aula, por exemplo), pois muitos alunos não fizeram seus mapas.

Para simplificar a análise, sem perder a generalidade, escolhemos três alunos para representar as fatias, já devidamente identificadas, da turma. A escolha foi feita pela qualidade do trabalho apresentado. Mesmo entre aqueles que fizeram apenas uma atividade, há aqueles que a fizeram muito bem feita e outros que a fizeram de qualquer maneira, aparentemente. O aluno A participou de todas as atividades, o aluno L deixou de participar de pelo menos uma atividade e o aluno V só participou da elaboração (em grupo, diga-se) do relatório experimental. Os resultados do teste prévio e teste final desses alunos são comparados a fim de fornecer indícios de sucesso ou fracasso na

aprendizagem desses grupos. Mais uma vez, saliento que não procuramos, com isso, validar a eficácia do produto.

Aluno	Parte I (5 pontos)	Parte II (3 pontos)	Parte III (2 pontos)
Aluno A	3	0	1
Aluno L	4	1	1
Aluno V	4	2	1

Tabela 1: Resultado no teste prévio. A parte I versa sobre percepções auditivas, a parte II, sobre conceitos físicos, diretamente, e a parte III, sobre a experiência em laboratório. Foram pontuadas as questões objetivas, apenas.

O teste final também foi dividido em três partes e o resultado dos três alunos em questão está na tabela a seguir. As três provas, na íntegra, estão disponíveis no anexo 1. Ressaltamos que a correção das questões dissertativas obedece a um critério simples de alinhamento com o conceito correto para que a correção não seja subjetiva, ou seja, se o aluno não definiu bem o conceito físico em questão, ele recebeu zero como pontuação.

Aluno	Parte I (2 pontos)	Parte II (2 pontos)	Parte III (4 pontos)
Aluno A	2	2	4
Aluno L	1	0	2
Aluno V	1	1	2

Tabela 2: Resultado no teste final. A parte I versa sobre percepções auditivas, a parte II, sobre conceitos físicos, diretamente, e a parte III, sobre a experiência em laboratório.

Ao compararmos as tabelas, percebemos um claro desenvolvimento do aluno A (que participou de todas as atividades propostas), que obteve um acerto percentual de 40% no teste prévio e atingiu um acerto percentual de 100% no final. Enquanto o aluno L teve um decréscimo de rendimento equivalente a cerca de 30 pontos percentuais e o aluno V teve rendimento próximo ao apresentado no teste prévio. Esses resultados se explicam, em parte, pelos diferentes níveis de engajamento demonstrados pelos alunos. O aluno A participou de todas as atividades e teve uma postura ativa em todas as aulas (questionando, levantando hipóteses, etc.), já o aluno L apresentou um interesse inicial, mas tem o costume de não se engajar em nada que a escola

propõe e perdeu o interesse na discussão, após a atividade experimental. O aluno V faltou alguns encontros e realizou poucas tarefas.

Na média, a turma se manteve com o mesmo percentual, aproximadamente 50% de acertos. Esse percentual revela, para nós, um comportamento interessante. Primeiramente, é importante dizer que o teste inicial era bem menos rigoroso do que foi o teste final. Isto é, o fato de um aluno apresentar notas piores no teste final, não indica que ele “desaprendeu”. De fato, observamos que aqueles que apresentaram rendimentos piores no teste final, foram aqueles que menos se engajaram nas atividades propostas. Em oposição àqueles que caíram de rendimento, há aqueles que se engajaram bastante nas atividades propostas, como o aluno A. Esses aumentaram suas notas nas avaliações, mostrando que o produto educacional proposto deu a oportunidade de aprendizado àqueles estudantes interessados.

Não criamos um grupo-controle, nem aplicamos métodos científicos rigorosos e, por isso, não fazemos muitas afirmações sobre o sucesso ou fracasso absoluto da proposta de nosso produto educacional. Porém, nosso produto educacional só pode ser avaliado, de maneira justa, se levarmos em conta apenas 6 os alunos que se engajaram na proposta, já que aqueles pouco interessados estariam assim também caso lhes fossem ministradas aulas tradicionais.

Optamos por usar mapas conceituais em nosso produto educacional. Mapas conceituais são, de maneira geral, segundo Moreira (2012), “*apenas diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos*”. Muito embora haja diversos trabalhos que mostram que os mapas conceituais são importantes ferramentas educacionais quando se pretende suscitar protagonismo do estudante no processo educacional (SOUSA, 2010), seu uso não é patente. Dessa forma, utilizamos mapas conceituais apenas como ferramentas suporte para o processo de aprendizagem e não pretendemos, ao escolher usá-los, utilizá-los como avaliação.

Permitimos o uso dos mapas conceituais produzidos por cada aluno para realizar o teste final. Com isso, pudemos confeccionar um teste menos

padronizado e que favorecesse aqueles alunos que aprenderam significativamente, em detrimento daqueles que o fizeram de maneira mecânica.

Observamos, para realizar essa análise, que os mapas não tiveram nenhuma correlação com os resultados obtidos no teste final. Mapas conceituais que continham vários erros e poucas relações precisas foram feitos por alunos que obtiveram excelentes avaliações. Nenhum mapa conceitual feito pelos estudantes que participaram da aplicação desse produto educacional poderia ser alvo de um instrumento de avaliação séria, pois não foi dada atenção alguma para a sua confecção, ao longo da sequência didática. Como ilustração, citamos o mapa conceitual mais completo apresentado por um aluno participante desse projeto, na foto 37.

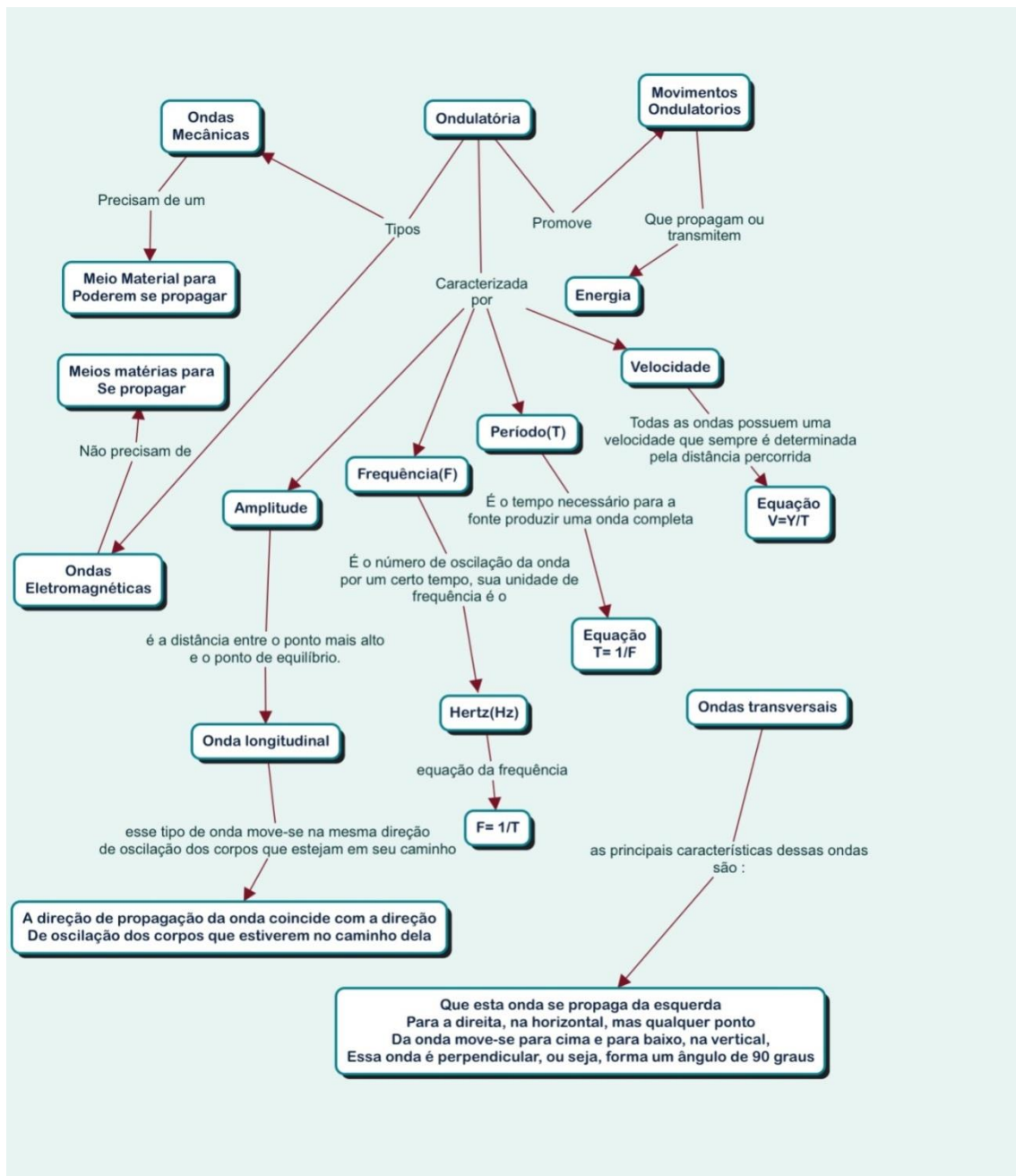


Foto 37: Exemplo de mapa conceitual feito por um aluno participante da aplicação do produto educacional.

Há vários erros conceituais nesse mapa. Há algumas ligações equivocadas, como, por exemplo, a que há entre “Amplitude” e “Onda longitudinal”. Não nos serve para fins de avaliação do projeto, a análise desses mapas conceituais. Porém, acentua-se que: “*não existe o mapa conceitual [correto] de um determinado assunto, e sim um mapa para determinada pessoa*” (SAKAGUTI, 2004). O mesmo autor defende a tese que o conteúdo de

um mapa conceitual não é o mais relevante, mas sim se o estudante, no processo de confeccioná-los, teve ou não aprendizagem significativa.

Dessa forma, a menção a eles é feita no presente texto para ilustrar o trabalho desenvolvido pelos alunos quando a utilização de um mapa conceitual é proposta como foi em nosso projeto. Encorajamos os futuros aplicadores de nosso produto educacional que deem, caso seja conveniente, atenção à confecção desses mapas, aula a aula, se desejarem utilizá-los como forma de avaliação. Acreditamos que os mapas conceituais constituem uma poderosa ferramenta didática se forem usados como instrumentos de avaliação (NOVAK, 2010). Ao usá-los como instrumentos avaliativos, os estudantes são incentivados a usarem padrões de aprendizagem significativa (NOVAK, 1991).

5.5 Análises gerais sobre o projeto

Após a aplicação do teste final, os alunos foram convidados a realizar uma avaliação do projeto. Dezoito alunos participaram dessa avaliação. O resultado de cada questão, seguido de breves comentários sobre minha percepção em relação ao projeto, seguem.

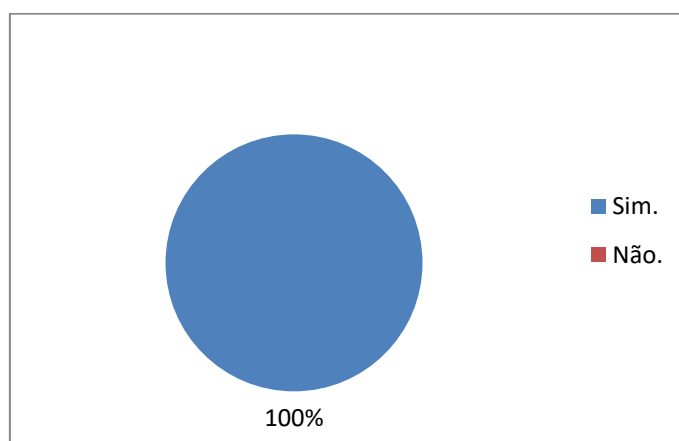


Imagem 13: Resposta a questão 1: Esse projeto foi desenvolvido com o objetivo de tornar mais claro conceitos básicos de ondulatória. Você acha que aprendeu mais com ele do que se tivesse tido aulas tradicionais?

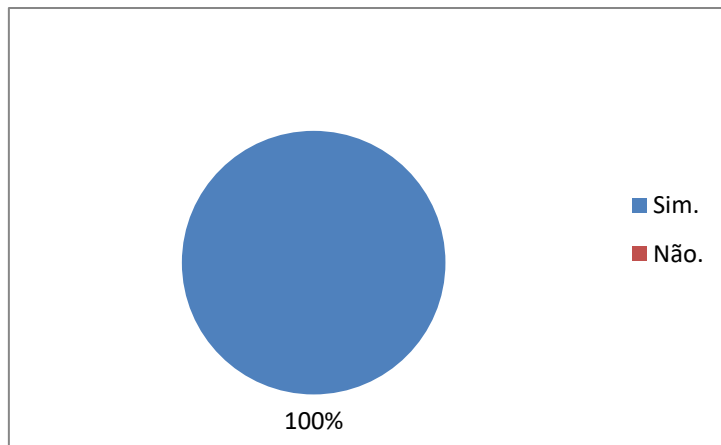


Imagem 14: Resposta a questão 3: Neste projeto, você teve a oportunidade de ir ao laboratório para investigar mais a fundo o funcionamento das cordas de um violão. Você acha que essa prática te ajudou a compreender melhor os conceitos de ondulatória previamente desenvolvidos em sala de aula?

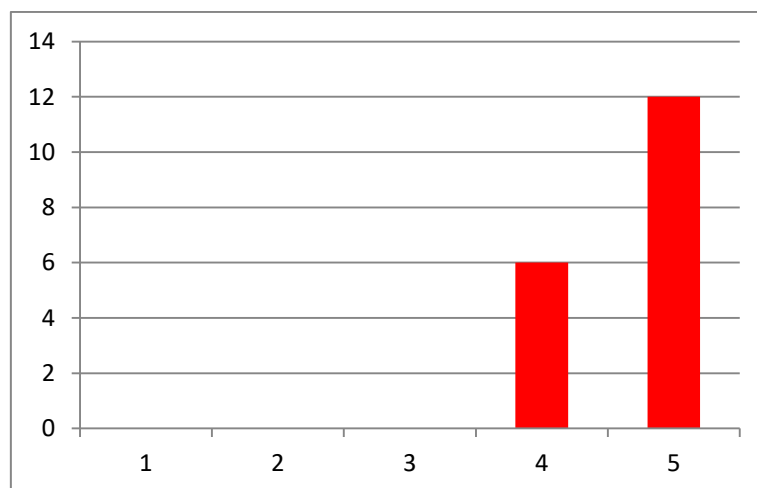


Imagem 15: Resposta a questão 5: Em uma escala de 1 a 5, como você avalia a relevância do conteúdo trabalhado nesse projeto para sua formação acadêmica?

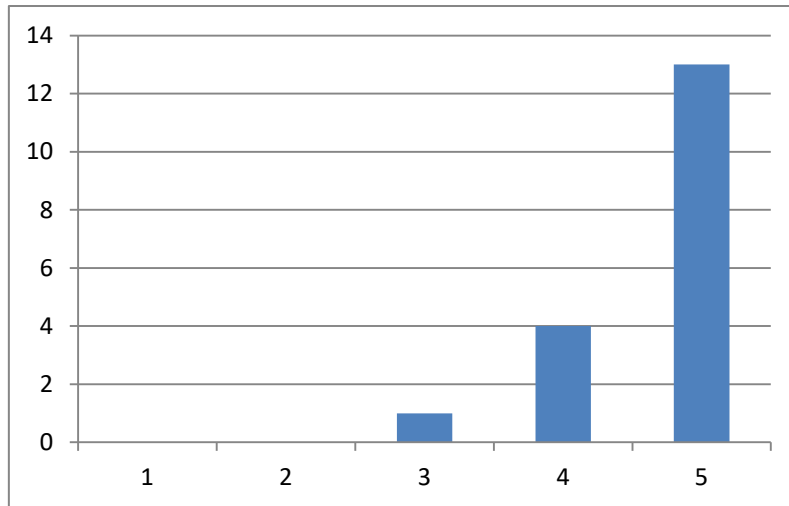


Imagem 16: Resposta a questão 6: Em uma escala de 1 a 5, como você avalia a qualidade do material textual (listas de exercícios, textos no site e roteiros experimentais) produzido/utilizado neste projeto?

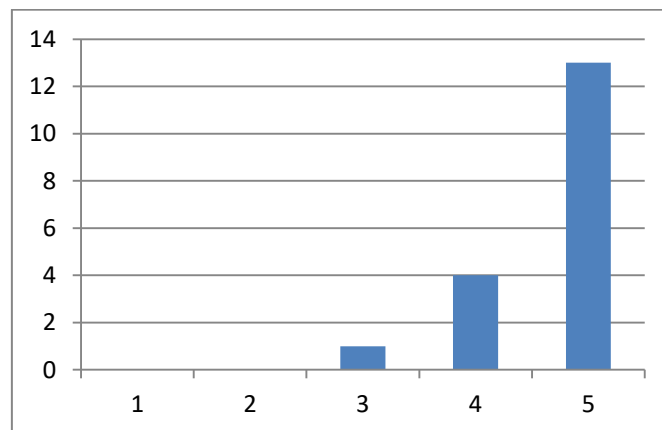


Imagem 17: Resposta a questão 7: Em uma escala de 1 a 5, como você avalia a qualidade do material produzido para a prática experimental? Isso inclui: roteiro pré-experimental, roteiro experimental e o monocórdio.

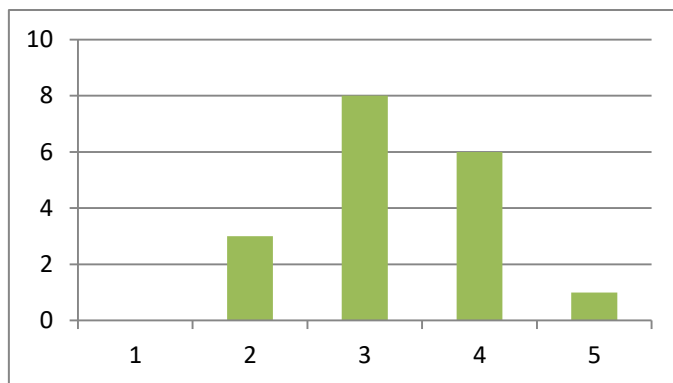


Imagem 18: Resposta a questão 8: Em uma escala de 1 a 5, como você avalia o tempo que você teve para produzir o relatório da atividade experimental?

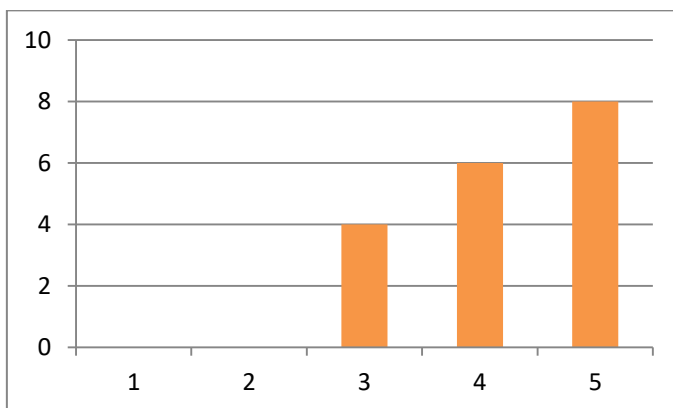


Imagem 19: Resposta a questão 9: Em uma escala de 1 a 5, como você avalia as discussões sobre os dados experimentais que você coletou no laboratório?

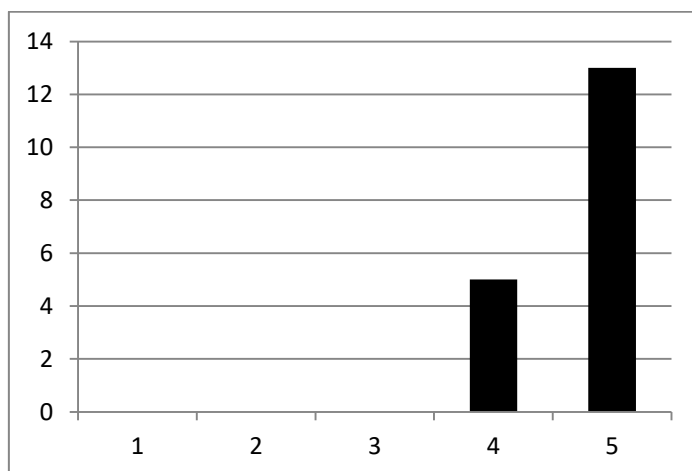


Imagem 20: Resposta a questão 10: Em uma escala de 1 a 5, como você avalia o projeto como um todo?

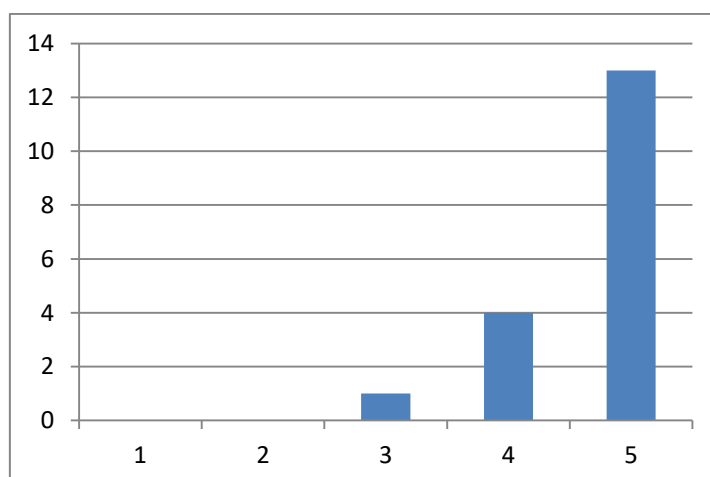


Imagem 21: Resposta a questão 11: Em uma escala de 1 a 5, como você avalia a regência do professor?

Infere-se das respostas dadas às perguntas sobre o projeto que, na percepção dos estudantes, ele foi bem sucedido. Destaque-se a avaliação ruim para o tempo dado para a realização da atividade, considerado curto. Em aplicações futuras, sugere-se adição de, pelo menos, uma aula preparatória para a prática experimental.

Mais importante, talvez, do que a avaliação objetiva é a avaliação subjetiva realizada pelos alunos. Soube, por um professor colega, que a maior parte dos alunos elogiaram muito a aula três dessa sequência didática e que ficaram muito empolgados em aprender sobre ondulatória. Infelizmente, esse furor não foi compartilhado por toda a turma e, mesmo naqueles que elogiaram foi fugaz e não foi demonstrado nos últimos encontros, de maneira geral.

Transcrevo as respostas dadas ao campo sugestão/crítica/elogio, presente na avaliação do projeto:

“que o professor poderia sempre colocar em prática com os alunos.”

“Adorei ter visto este conteúdo com uma nova perspectiva que estava sendo aplicada em outras matérias, com certeza foi o conteúdo que eu mais me interessei em física esse ano, talvez não pelo tema, mas sim pela didática.”

“Eu acho o professor bastante competente!”

“Parabenizar o professor por disponibilizar uma aula diferente e interessante!”

“Eu acho que devíamos ter mais fichas com a matéria estudada, fichas de exercícios.”

“Eu gostei muito desse conteúdo. Acho que com aulas mais práticas, os alunos ficam mais interessados e se dão melhor!”

“Este método de trabalho foi muito eficaz. Deveriam ser feitos mais trabalhos desta maneira.”

“BEST. CLASS. EVER.”

“Seria bom se tivesse mais fichas ligados aos vestibulares.”

“O projeto é excelente”. AS aulas se tornaram muito mais atraentes e compreensivas.

“A aula experimental foi ótima !!! :)”

“Achei muito bom a sua maneira pela qual foi abordado o tema nos trazendo para uma realidade muito próximo o que vivemos.”

“O projeto foi ótimo! Consegui aprender e receber bastante informações com muita clareza. Sem dúvidas não teria jeito mais prático de aprender. Parabéns aos organizadores! Que vocês possam levar essa experiência maravilhosa a outros alunos e escolas também.”

Capítulo 6

Conclusão

Estruturamos uma sequência didática baseada na necessidade de compreender os fenômenos ondulatórios com maior clareza, especialmente aqueles conceitos fundamentais para compreensão de fenômenos mais complexos como comprimento de onda, frequência e velocidade de propagação.

Nossa hipótese era a de que a utilização da música como elemento motivador e estruturador para a construção dos conceitos básicos de física ondulatória é um facilitador na aprendizagem dos mesmos. Ela pôde ser verificada na primeira metade da nossa prática, já que constituíam subsunçores todos os elementos musicais intuitivos que precisávamos. Compreendê-los utilizando conceitos físicos e relacioná-los logicamente me pareceu mais evidente do que seria em uma aula tradicional apoiada apenas no livro texto. Além disso, fica em aberto a possibilidade de estudar, mais profundamente, a relação íntima que há entre música e física, especialmente em relação ao conceito de consonância.

Verificamos o impacto positivo na introdução de aparatos experimentais, manipuláveis diretamente pelo aluno na aprendizagem de conceitos básicos de ondulatória. A atividade experimental desempenhou um papel fundamental na consolidação do conhecimento desenvolvido nesse produto. Na percepção dos alunos, o laboratório serviu para compreender como os conhecimentos científicos são produzidos e ajudou a desmistificar a ciência como uma atividade para pessoas geniais apenas.

Ademais, percebemos um ganho significativo na compreensão de conceitos físicos e suas definições matemáticas formais advindas dessa prática. Apesar da pouca habilidade na aquisição de dados e seu tratamento matemático (construção de tabelas, gráficos, etc.) alguns alunos que participaram da prática experimental relataram que passaram a entender a

matemática como um instrumento interessante na compreensão de fenômenos físicos.

Verificamos ainda que a introdução de aparatos experimentais é, de fato, capaz de tornar as aulas de física mais interativas e voltadas para o cotidiano do aluno. Atribuo essa percepção a utilização do violão como situação problema motivadora desde o início da sequência. Dessa forma, o aparato experimental ganhou um *status* de instrumento de pesquisa usado para compreender o funcionamento de um objeto musical.

Como o grupo de alunos participantes foi bastante heterogêneo em relação ao engajamento nem todos apresentaram indícios de aprendizagem significativa. Além disso, a atividade prática se mostrou um ambiente completamente inédito para todos os alunos participantes e como é de se esperar em ambientes assim, eles ficaram um pouco confusos e desorientados inicialmente. Porém, aqueles que se permitiram refletir sobre a prática a consideraram muito proveitosa sobre os aspectos: a) epistemológico: esses alunos relataram que mudaram a forma de ver as equações que utilizam para resolver problemas físicos, pois agora compreendem que elas devem refletir o comportamento observável do referido fenômenos e que muitas dessas equações são aproximações para casos ideais. Adicionalmente, ficou mais claro que uma aproximação para um caso ideal nem sempre descreve algo que não existe (por conseguinte algo inútil), mas que essas aproximações podem dar resultados próximos o suficiente. b) instrumental: alguns desses alunos relatam que entendem melhor o porquê estudam tantas funções na disciplina de matemática e ficaram surpresos ao saberem que a maior parte delas (ou a totalidade) foram “encomendadas” ou demandadas de uma necessidade de descrever algum fenômeno. Para mim, esse foi o ponto alto da aplicação desse produto educacional e certamente mudou a forma com eu enxergo o laboratório de física e a sua importância na formação de um estudante.

A construção do aparato experimental foi outra aventura a parte. Para que ele funcionasse de fato foram necessários muitos testes e ajustes, mas o resultado foi satisfatório, já que com materiais de baixo custo foi possível

construir uma prática extremamente rica para todos os envolvidos no processo. Recomendo aos professores que forem utilizar essa sequência que dediquem um tempo para testar previamente os roteiros e até os modifiquem de acordo com a necessidade.

Alguns imprevistos aconteceram ao longo da prática. A cultura da escola não favorecia um engajamento muito grande dos alunos o que foi frustrante a princípio, mas compreensível posteriormente. Alguns alunos ficaram marginalizados, por escolha própria, nas últimas atividades da sequência didática, pois faltaram às aulas, ou simplesmente não estavam dispostos a investigar os fenômenos mais maduramente. Não seria exagero afirmar que em quase todas as turmas de ensino médio esse tipo de aluno está presente, porém, para aquele aluno que se interessou e se permitiu refletir sobre os assuntos propostos essa sequência se mostrou bastante rica. Não preparamos os alunos que participaram da prática para resolverem questões de vestibulares, mas os preparamos para, caso seja de interesse particular, sejam capazes de compreender fenômenos mais complexos e, principalmente, compreendam melhor os fenômenos ondulatórios que lhes são comuns.

Referências Bibliográficas

ARANTES, Alessandra Riposati; MIRANDA, Márcio Santos; STUDART, Nelson. **Objetos de Aprendizagem no ensino de física: usando simulações do PheT.** *Física na Escola*, v. 11, n. 1, 2010.

AZEVEDO, M. C. P. S. **Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula.** In: CARVALHO, A. M. P. (org). *Ensino de Ciências*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, p. 19-33, 2004.

BLEICHER, Lucas; SILVA, Moésio Medeiros da; RIBEIRO, Júlio Wilson y MESQUITA, Márcio Gurjão. **Análise e Simulação de Ondas Sonoras Assistidas por Computador.** *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. vol.24, n.2, pp. 129-133. ISSN 1806-9126, 2002.

BOWLING, Daniel L.; PURVES, Dale. **A biological rationale for musical consonance.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 112, n. 36, p. 11155-11160, 2015.

CARVALHO, Cristiane. **Uma revisão de literatura sobre o uso de softwares/simuladores/applets e principais referenciais teóricos no ensino de física.** *Departamento de Ciências Naturais, Universidade Federal de São João del Rei*, 2012.

CASTRO, M.H.G.; TIEZZI, S. **A reforma do ensino médio e a implantação do ENEM no Brasil.** In: BROCK, C.; SCHWARTZMAN, S. (Org.). *Os desafios da educação no Brasil*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, p. 119-154, 2005.

CATELLI, Francisco; MUSSATO, Gabriel A. **As frequências naturais de uma corda de instrumento musical a partir de seus parâmetros geométricos e físicos.** *Mestrado em Educação e Mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade de Caxias do Sul, RS, Brasil*, 2014.

COELHO, Suzana Maria. **Acústica e música: uma abordagem metodológica para explorar sons emitidos por tubos sonoros**, *Faculdade de Física – PUCPorto Alegre – RS Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 32, n. 1, p. 207-222, abr. 2015.

CROCKER, Richard L. **Pythagorean mathematics and music**. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, v. 22, n. 2, p. 189-198, 1963.

FILHO, Geraldo. **Simuladores Computacionais para o ensino de física básica: uma discussão sobre produção e uso**. *Mestrado Profissional em Ensino de Física, Universidade do Rio de Janeiro*, 2010.

GOTO, Mario. **Física e música em consonância**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 2, 2307, 2009.

GUEDES, Anderson Guimarães. **Estudo de ondas estacionárias em uma corda com a utilização de um aplicativo gratuito para smartphones**. *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. Vol.37, n.2, pp. 2502-1-2502-5. ISSN 1806-9126,2015.

HAN, Shui'er et al. **Co-variation of tonality in the music and speech of different cultures**. *PLoS One*, v. 6, n. 5, p. e20160, 2011.

HARTMANN, W.M. **The electronic music synthesizer and the physics of music**. *Department of Physics, Michigan State University*, 1975.

HECKLER, Valmir; SARAIVA, Maria; FILHO, Kepler. **Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.29, n.2, p267-273, 2007.

HEIDEMANN, Albuquerque; OLIVEIRA, Ângelo; VEIT, Eliane. **Ferramentas online no ensino de ciências: uma proposta com o Google Docs.** *Universidade do Rio Grande Do Sul - Instituto de Física. Física na Escola*, v.11, n.2, 2010.

International Training & Education Center on HIV (I-TECH). **Orientações para Pré e Pós-Teste.** *Guião de Implementação Técnica #2.* Março, 2008. Disponível em: http://www.go2itech.org/resources/technical-implementation-guides/2.TIG_Pre_Pos_Teste_A4.pdf. Acesso em: 02/07/2016

KAC, Marck; ROTA, Gian-Carlo. **Discrete Thoughts, Essays on Mathematics, Science, and Philosophy.** Second Edition., SCHWARTZ, Jacob T, 1993.

LAGO, B.L. **A guitarra como um instrumento para o ensino de física ondulatória.** *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. Vol.37, n.1 Epub 30-Mar-2015. ISSN 1806-9126, 2015.

LAWTON, Joseph T., SAUNDERS, Ruth A., MUHS, Paul. **Theories of Piaget, Bruner, and Ausubel: Explications and Implications.** *Iniversity of Wisconsin-Madison. The Journal of Genetic Psychology*, 136, 121-136, 1980.

LEFRANÇOIS, Guy R. **Teorias da Aprendizagem.** *Tradução da 5ª edição norte-americana.* São Paulo, 2012.

MELO, Ruth. **A utilização das TIC's no processo de Ensino e Aprendizagem da Física.** *3º Simpósio Hipertexto e Tecnologias na Educação (Anais Eletrônicos).* Universidade Federal de Pernambuco – Núcleo de Estudos de Hipertexto e Tecnologias na Educação, 2010.

MOREIRA, Marco Antonio. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa.** Adaptado e atualizado, em 1997, de um trabalho com o mesmo título publicado em O ENSINO, Revista Galáico Portuguesa de Sócio-Pedagogia e Sócio-Linguística, Pontevedra/Galícia/Espanha e Braga/Portugal, N° 23 a 28: 87-95, 1988. Revisado novamente em, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias da aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, Marco Antonio. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS**. Instituto de Física – UFRGS. Original a ser submetido a publicação. Versão 6.0. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>. Acesso em: 02/07/2016

MOURA, Daniel De Andrade. **O ensino de acústica no Ensino médio por meio de instrumentos musicais de baixo custo**. *Escola Estadual Senador Paulo Egydio de Oliveira Carvalho, São Paulo, SP, Brasil, NETO, Pedro Bernardes Estudo no Instituto de Artes, Universidade Estadual Paulista “Júliode Mesquita Filho”, SP, Brasil. Física na Escola, v. 12, n. 1, 2011*

NOVAK, J. D. **Clarify with concept maps: a tool for students and teachers alike**. *The Science Teacher, v. 58, p. 45-49, 1991.*

NOVAK, Joseph D.; CAÑAS, Alberto J. **A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los**. *Práxis Educativa, v. 5, n. 1, p. 9-29, 2010.*

OSTERMANN, Fernanda; CAVALVANTI, Cláudio. **Teorias de aprendizagem – Texto introdutório**. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Física, 2010.*

PACHERO, Décio. **A experimentação no Ensino de Ciências**. *Ciência & Ensino, 2, pg 10. Unicamp – Campinas, SP, Junho, 1997.*

PAKER, Barry. **Good Vibrations, The Physics of Music**. *The Johns Hopkins University Press, 2009.*

PIETROCOLA, MAURÍCIO, **A matemática como estruturante do conhecimento físico**. *Depto de Física – UFSC Florianópolis – SC, Cad. Cat. Ens. Fís., v.19, n.1: p.89-109, ago. 2002.*

RICARDO, Elio Carlos. **O ensino das ciências no nível médio: Um estudo sobre as dificuldades na implementação dos Parâmetros Curriculares Nacionais.** *Depto. de Física - UFSC Florianópolis – SC. Cad.Bras.Ens.Fís., v.19, n.3: p.351-370, dez. 2002.*

SANTOS, E.M.; MOLINA, C. e TUFAILE, A.P.B. **Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física.** *Rev. Bras. Ensino Fís.* [online]. Vol.35, n.2, pp. 1-7. ISSN 1806-1117, 2013.

SAKAGUTI, S. T. **Mapas conceituais e seus usos: um estudo da literatura.** Dissertação (Mestrado Profissional) – Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SERÉ, Marie-Geneviève; COELHO, Suzana; NUNES, António. **O papel da experimentação no ensino da física.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.20, n.1: 30-42, abr. 2003.*

SOUSA, Nadia Aparecida; BORUCHOVITCH, Evely. **Mapas Conceituais: Estratégia de ensino/aprendizagem e ferramenta avaliativa.** *Educação em Revista. Belo Horizonte, v.26, n.03, p. 195-218, dez. 2010.*

VILLANI, Carlos; NASCIMENTO, Silvania. **A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio.** *Investigações em Ensino de Ciência V8(3), pp. 187-209, 2003.*

WALVY, O. W. C. **As situações-problema como facilitadoras para a aprendizagem de conceitos físicos no ensino médio.** *XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física. Rio de Janeiro: SBF, 2005.*

WOOD, Alexander. **The Physics of Music.** *M.A., D.SC, Late Fellow of Emanuel College, Cambridge, 2007.*

YAMAMOTO, Issao; BARBETA, Vagner. **Simulações de experiências como ferramenta de demonstração virtual em aulas de teoria de física.** *Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 23, no. 2, Junho, 2001*

Simulação de uma onda em Corda. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/wave-on-a-string Acesso em: 12/06/2016.

Site oficial para os softwares WavePadAudioEditing ePitchPerfect Musical InstrumentTuner. Disponível em: <http://www.nch.com.au/> Acesso em: 18/06/2016.

Site oficial para o aplicativo GuitarTuner para android. Disponível em: play.google.com/store/apps/details?id=com.gismart.guitar.tuner. Acesso em: 18/06/2016.

Site oficial para o aplicativo Guitar Pro. Disponível em: <https://www.guitar-pro.com/en/index.php> Acesso em: 18/06/2016.

APÊNDICE ÚNICO

Produto Educacional

Nosso produto constitui-se dos seguintes materiais didáticos para os alunos: uma lista de exercícios sobre o conceito de período e frequência, definição de pulso e de onda. Dois textos experimentais: um texto preparatório e um roteiro para ser usado na atividade experimental. Um teste prévio e um teste final. Além de uma pesquisa de satisfação (apêndice A6). Todo esse material encontra-se disponível no website desenvolvido para esse produto. Ele pode ser acessado nos endereços: bit.ly/ondulotoria ou sites.google.com/site/introducaoondulotoria.

A1. Teste prévio

O teste prévio foi produzido utilizando uma ferramenta gratuita oferecida pelo Google, chamada GoogleForms, não só pela facilidade de uso e confecção do material, mas pelo impacto positivo que aparentemente há na aprendizagem dos alunos ao utilizarmos esse tipo de recurso no ensino (HEIDEMANN, 2010, p. 33). Seguimos alguns conselhos sobre a produção de pré e teste final do guia da I-TECH (Orientações para Pré e Teste final) que apesar de não ser voltado ao ensino de física contribuiu com orientações gerais de confecção desses testes.

Neste teste estávamos interessados em investigar e identificar o que já era conhecido pelo aluno em relação a suas habilidades instrumentais/operacionais, conhecimento rudimentar de música e sobre conceitos físicos que seriam desenvolvidos no projeto. As questões foram escritas de tal forma a deixar clara a intenção dos questionamentos, mas usando uma linguagem que cremos ser acessível a um aluno do 2º ano do ensino médio. Com isso, objetivamos identificar sobre qual base poderíamos edificar os novos conhecimentos sobre ondulatória e, em minha análise, tivemos sucesso nesse objetivo. Essa etapa é fundamental, segundo Ausubel, para construir um processo onde haja aprendizagem significativa, pois novos conhecimentos só serão integrados a estrutura cognitiva do aprendiz

hierarquicamente e categoricamente corretamente se partirem de subsunções presentes nessa estrutura.

Para atingir esse objetivo foi necessário identificar qual seria a linguagem mais apropriada a ser utilizada nas aulas e quais exemplos seriam relevantes do ponto de vista experiencial para os alunos. Identificamos, por exemplo, que sons altos e baixos não significavam para eles sons agudos e graves, mas sons de grande e baixa intensidade sonora. Sons graves e agudos para eles eram sons “finos” e “grossos”. Após reconhecer uma linguagem que julgamos apropriada o professor pôde conduzir suas aulas de forma a intermediar o ganho conceitual dos alunos ao migrar de uma linguagem que poderíamos classificar como de senso comum para uma mais técnico-científica.

Os dados coletados foram rapidamente tratados²⁸ e na aula seguinte da aplicação do teste os grupos já estavam montados. Havia um receio da nossa parte em relação à pré-definir os grupos, já que poderíamos incorrer no erro de formar grupos onde seus integrantes não cooperariam para o bom andamento da atividade por desavenças pessoais, mas tivemos uma grata surpresa ao perceber que eles receberam bem essa decisão. Isso muito se deve, a meu ver, ao critério estabelecido para a montagem dos grupos: a pontuação alcançada no teste prévio. É importante destacar que eles não tiveram acesso à correção do teste e nem ao próprio depois de sua realização. Isto possibilitou a utilização posterior de algumas questões deste no teste final. Segue o teste prévio na íntegra:

²⁸ Com um *add-on* do GooglePlanilhas chamado Flubaroo, é possível fazer a correção automática do teste e enviar o resultado individual, por e-mail, a cada um dos alunos.

Teste prévio

Identificação do aluno:

E-mail: _____

Nome: _____

PARTE I

Questão 1 (Aberta)

Como é possível escutar o som emitido por uma corda de violão? Em sua resposta, explique o que é o som para você e como ele se propaga (“caminha”) até seus ouvidos.

Questão 2

Escute o áudio 1 e o áudio 2. Assinale a opção que melhor descreve o que você escutou:

- a) O som do áudio 1 é produzido por uma corda que oscila (movimento de sobe e desce) mais lentamente que a corda que produz o som do áudio 2.
- b) O som do áudio 1 é produzido por uma corda que oscila (movimento de sobe e desce) mais rapidamente que a corda que produz o som do áudio 2.

Questão 3

Escute o áudio 3 e o áudio 4. Estes sons são produzidos quando duas cordas de um violão são tocadas simultaneamente (ao mesmo tempo). Quantos sons você escuta no áudio 3?

- a) 1 som.
- b) 2 sons.
- c) 3 sons.
- d) Mais de 3 sons diferentes.

Questão 4

Ainda sobre os áudios 3 e 4, quantos sons você escuta no áudio 4?

- a) 1 som.
- b) 2 sons.
- c) 3 sons.
- d) Mais de 3 sons diferentes.

Questão 5 (Aberta)

Qual é a diferença entre as cordas que produziram o áudio 3 e o áudio 4?

Questão 6

Escute o áudio 5 e o áudio 6. O som do áudio 5 é obtido quando o violonista toca uma corda com menos força do que em relação ao som obtido no áudio 6. Entre as opções abaixo, indique a melhor afirmação sobre este fenômeno:

- a) O som do áudio 5 tem menos intensidade do que o som do áudio 6, porém as duas cordas oscilam (movimento de sobe e desce) com mesma rapidez.
- b) O som do áudio 5 tem mais intensidade do que o som do áudio 6, porém as duas cordas oscilam (movimento de sobe e desce) com mesma rapidez.
- c) O som do áudio 5 tem menos intensidade do que o som do áudio 6, além disso a corda que produz o som do áudio 5 oscila (movimento de sobe e desce) mais lentamente que a corda que produz o som do áudio 6.
- d) O som do áudio 5 tem menos intensidade do que o som do áudio 6, além disso a corda que produz o som do áudio 5 oscila (movimento de sobe e desce) mais rapidamente que a corda que produz o som do áudio 6.
- e) Outra.

PARTE II

É exibido o vídeo: Chopin Nocturne Op. 9 No. 2 guitarra clássica por Guitar Prince of Nepal. Utilizando o YouTube.

Questão 7

No vídeo, é possível perceber que o músico ao tocar seu violão é capaz de emitir sons agudos (“finos”) e sons graves (“grossos”). Dentre as alternativas abaixo, marque aquela que melhor explicaria para você como isso é possível:

- a) Sons graves são emitidos nas cordas mais espessas (grossas) e sons agudos são emitidos em cordas menos espessas (finas). Uma corda mais grossa não consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina.
- b) Sons graves são emitidos quando as cordas oscilam (vibram) lentamente em relação a sons agudos que são emitidos quando as cordas oscilam mais rapidamente. Uma corda mais espessa (grossa) não consegue emitir um som mais agudo do que uma corda menos espessa (mais fina).
- c) Sons graves são emitidos nas cordas mais espessas (grossas) e sons agudos são emitidos em cordas menos espessas (mais finas). Uma corda mais espessa consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina, tudo vai depender da posição dos dedos do violonista.
- d) Sons graves são emitidos quando as cordas oscilam (movimento de sobe e desce) lentamente em relação a sons agudos que são emitidos quando as cordas oscilam mais rapidamente. Uma corda mais grossa consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina, tudo vai depender da posição dos dedos do violonista.

Questão 8

No vídeo, é possível perceber que em diversos momentos o violonista toca várias cordas simultaneamente (ao mesmo tempo) formando o que se denomina em música como ACORDES. Entre as alternativas a seguir, indique aquela que melhor caracteriza o fenômeno observado:

- a) Ao tocar várias cordas ao mesmo tempo os sons de todas se “misturam” sempre formando apenas um único som mais intenso.
- b) Ao tocar várias cordas ao mesmo tempo os sons de todas se “misturam”, mas ainda assim é possível discernir (entender) cada um dos sons emitido por cada corda sempre.
- c) Como nenhuma corda consegue emitir o mesmo som que outra corda, ao tocar várias cordas ao mesmo tempo é sempre possível discernir (entender) cada um dos sons emitido por cada corda.
- d) Como é possível que uma corda consiga emitir o mesmo som que outra corda, ao tocar várias cordas ao mesmo tempo é possível que estes sons se “misturem” e produza um som único.

Questão 9

No vídeo, é possível perceber que o violonista ora toca seu violão com mais força e ora fracamente. Quando ele toca com força escutamos os sons mais intensos e quando ele toca com pouca força escutamos os sons menos intensos. Entre as alternativas a seguir, indique aquela que melhor explique este fenômeno:

- a) Ao tocar com força as cordas oscilam (vibram) para cima e para baixo com maior rapidez que quando são tocadas com menos força, isso porque quanto mais força o violonista põe na corda mais “alto” (maior a distância em relação a posição original) essa corda chega. Logo, leva menos tempo para ela completar uma oscilação.
- b) Ao tocar com força as cordas oscilam (vibram) para cima e para baixo com menor rapidez que quando são tocadas com menos força, isso porque quanto mais força o violonista põe na corda mais “alto” (maior a distância em relação a posição original) essa corda chega. Logo leva mais tempo para ela completar uma oscilação
- c) Ao tocar com força as cordas oscilam (vibram) para cima e para baixo com a mesma rapidez que quando são tocadas mais fracamente, a diferença é que quando são tocadas com força as cordas atingem uma “altura” maior (maior a distância em relação a posição original) do que quando são tocadas com menos força.

PARTE III

Questão 10

A seguir, se vê uma foto de um aparato experimental montado para estudar o comportamento de uma corda de violão. O aparato constitui-se de uma base de madeira que sustenta três parafusos com argola. Como a distância entre eles não é a mesma, obtemos dois segmentos de cordas desiguais em comprimento (indicados pelos números 3 e 4 na figura). Entre essas argolas passa-se uma corda que é fixa em um reservatório (indicado pelo número 1 na figura). Neste reservatório há um orifício (indicado na figura pelo número 2) que permite que o reservatório seja preenchido com facilidade. Também contamos com uma caixa de ressonância (indicado pelo número 5 na figura) que objetiva concentrar o som emitido pelo segmento de corda maior, tornando-o mais nítido. O que acontecerá com o som emitido pelo segmento de corda maior (indicado pelo número 4 na figura) quando, aos poucos, se enche o reservatório com água?

- a) O som fica cada vez mais agudo, pois a corda fica cada vez mais esticada.
- b) O som fica cada vez mais grave, pois a corda fica cada vez mais esticada.
- c) O som fica cada vez mais grave, pois a corda fica cada vez menos esticada.
- d) O som fica cada vez mais agudo, pois a corda fica cada vez menos esticada.

Imagem do aparato experimental



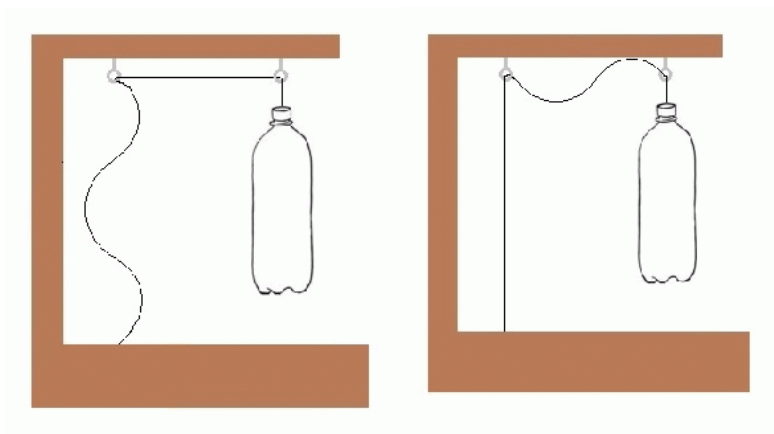
Questão 11

Nas animações a seguir, está ilustrado o comportamento vibratório dos segmentos de corda 1 e 2. Ao tanger (tocar) o segmento maior escutamos um som diferente do segmento de corda menor. Sobre essa experiência, marque a alternativa que para você diz que tipo de som escutaríamos e explica melhor o motivo disso acontecer.

- a) O som emitido pelo o segmento de corda maior é mais agudo (“fino”) do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está sob maior tensão (mais esticado) do que o segmento de corda menor.
- b) O som emitido pelo o segmento de corda maior é mais agudo (“fino”) do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está menos esticado do que o segmento de corda menor.
- c) O som emitido pelo o segmento de corda maior é mais grave (“grosso”) do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está menos esticado do que o segmento de corda menor.
- d) O som emitido pelo o segmento de corda maior é mais grave (“grosso”) do que o segmento de corda menor. Os dois segmentos estão sob mesma tensão e o que explica um som ser mais agudo do que o outro é justamente a diferença de tamanho entre os segmentos de corda.

Animação 1: Vibração do segmento de corda maior.

Animação 2: Vibração do segmento de corda menor.



A2. Exercícios que versam sobre cálculos simples envolvendo frequência, período e o conceito de ondas

Após a primeira aula expositiva, é planejada a aplicação de uma lista de exercícios sobre os conceitos de frequência e período, além da definição de onda e pulso. Ela é atividade programada para ser feita em casa (fora do horário de aula) e foi construída de tal modo a fazer que o aluno não só relembresse o que foi desenvolvido em aula, mas também pesquisasse por si próprios alguns conceitos não desenvolvidos em sala de aula. Ela é constituída de três partes: a primeira são exercícios que versam sobre o conceito de onda em suas mais variadas acepções (de caráter técnico e não técnico). A segunda parte são exercícios que versam sobre os conceitos de período e frequência. São descritas várias situações, algumas inusitadas, que só serão corretamente respondidas se esses conceitos forem razoavelmente bem compreendidos. E por fim são cobrados alguns exercícios sobre frequência e período de oscilação de uma corda, especificamente. No final dessa lista há duas questões, que devem ser respondidas após pesquisa, que versam sobre os tipos de propagação de uma onda (tema que não deve ser trabalhado em sala de aula). Há também um lembrete para o estudante não se esquecer de produzir um mapa conceitual com os conceitos desenvolvidos nessa aula. A lista, na íntegra, está mostrada a seguir:

Introdução a Ondulatória

O que são ondas?

O conceito de frequência e período.

Professor André Barcellos

Ondas

1. A palavra onda é empregada com diferentes significados. Para a física essa palavra é usada para definir o quê?
2. Pessoas comuns, que nunca estudaram física, empregam um sentido diferente para a palavra onda. Quais são as principais diferenças que você destaca?
3. Cite alguns exemplos de ondas físicas.

Conceitos de Frequência e Período

1. Alguns médicos recomendam que nos alimentemos a cada 3 horas. Considere uma pessoa que segue essa recomendação à risca e que acorde às 8h e vá dormir às 23h todos os dias. Com qual **frequência** essa pessoa se alimenta por dia, se a primeira vez que ela se alimenta são às 11h? E com qual frequência ela se alimenta por semana?
2. Nosso planeta Terra orbita (faz voltas em torno de) o Sol. O tempo para que ele faça uma volta completa ao redor da nossa estrela é de aproximadamente 1 ano. Qual é o **período** desse movimento em dias? E quanto vale esse período em horas?
3. O que significa a grandeza física chamada PERÍODO? No sistema internacional de medidas, ela é medida em que unidade?
4. O que significa a grandeza física chamada FREQUÊNCIA? No sistema internacional de medidas, ela é medida em que unidade?
5. A figura mostra uma roda de um carro. Você certamente já viu um carro em movimento e percebeu que suas rodas podem completar giros periodicamente.



Figura 1: Roda de um carro. Disponível em <http://ultrdownloads.com.br/papel-de-parede/BMW-Roda/>

Uma pessoa observa um carro em movimento e descobre que, em determinado intervalo de tempo, as rodas do carro fazem 240 giros a cada minuto. Sobre essa situação, responda:

- a) Qual é a frequência de rotação dessas rodas em r.p.m.?
- b) Qual é a frequência de rotação dessas rodas em r.p.s.?
- c) Qual é a frequência de rotação dessas rodas em Hz?
- d) Qual é o período de rotação dessas rodas?

6. Uma brincadeira muito comum e divertida entre os jovens é o famoso “pula corda”. A figura a seguir ilustra como é essa brincadeira, que consiste em duas pessoas agitarem uma corda para que uma terceira pule, evitando que tropece. À medida que o tempo passa, a frequência de giros da corda aumenta, dificultando os saltos!



Figura 2: Crianças brincando de pular corda. Disponível em <http://www.lookbebe.com.br/2014/07/03/do-que-eu-brincava-quando-era-crianca/>

Imagine que, no início da brincadeira, as duas pessoas que seguram a corda fazem com que ela complete uma volta a cada 0,8 segundos. Sobre essa situação, responda:

- a) Qual é o período de oscilação, em segundos, desse movimento?
- b) Com que frequência, em Hz, essa corda oscila?

7. Se você gosta de futebol, com certeza já deve ter visto a torcida executar uma “ola”. A foto a seguir ilustra esse famoso gesto de torcedores que frequentam estádios de todo o mundo. Essa manifestação consiste em cada um dos torcedores ao longo das arquibancadas levantarem-se e sentar-se de maneira ordenada, ou seja, quando um senta-se o seu vizinho levanta-se e volta a se sentar para o próximo se levantar e assim por diante.



Figura 3: Torcida fazendo ola no estádio. Disponível em <http://copadomundo.uol.com.br/paises-participantes/equador/>

Em determinado jogo, quando a “ola” passa, uma pessoa levanta-se e volta a sentar-se, levando 2 minutos para voltar a se levantar. Observa-se que essa “ola” dura 20 minutos. Sobre essa situação, responda:

- a) Qual é o período, em segundos, da “ola”?
- b) Qual é a frequência, em Hertz, da “ola”?

Frequência e Período em uma corda

1. Pesquise e responda: O que significa propagação longitudinal para uma onda? Cite um exemplo.
2. Pesquise e responda: O que significa propagação transversal para uma onda? Cite um exemplo.
3. Uma corda de um violão oscila até centenas de vezes por segundo. Ou seja, a frequência de movimentos de sobe e desce de uma corda de violão pode ultrapassar 1000 Hz. A figura a seguir, ilustra esse comportamento.

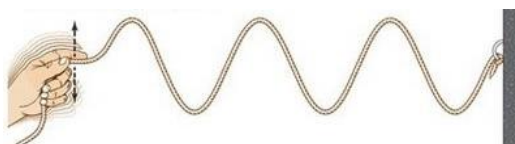


Figura 4: Pulsos em uma corda. Disponível em http://www.explicatorium.com/CFQ8/Som_As_ondas.php

Sobre essa situação, responda:

- a) Como classificamos esse tipo de propagação de onda, transversal ou longitudinal? Justifique sua resposta.
 - b) Uma corda que oscile com uma frequência de 1200 Hz, completa um ciclo (um movimento de sobe e desce completo) a cada quantos segundos?
 - c) Qual é a frequência de uma corda que completa um ciclo a cada 0,01 segundos?
4. Pesquise e responda: O que são ondas mecânicas? Cite um exemplo.
 5. Pesquise e responda: O que são ondas eletromagnéticas? Cite um exemplo.

ATENÇÃO: NÃO SE ESQUEÇA DE CONSTRUIR UM MAPA CONCEITUAL COM OS CONCEITOS QUE VOCÊ APRENDEU E/OU REFORÇOU FAZENDO ESSA LISTA DE EXERCÍCIOS!

A3. Texto preparatório para o experimento

Nosso produto articula-se em torno do uso, experimental, do monocórdio. Antes dos estudantes irem até o laboratório, eles devem ser preparados para realizar, de maneira minimamente satisfatória, as tarefas que lá desenvolverão. Com esse propósito, foi desenvolvido um texto preparatório para o experimento. Nele, há textos sobre o funcionamento de um violão (tipos de cordas usadas, número de cordas desse instrumento, diferença entre essas cordas, entre outros detalhes). Também é detalhado o funcionamento do aparato experimental a ser usado, bem como todas as ferramentas necessárias. Algumas dessas são providenciadas pelo próprio professor, outras por cada um dos alunos. Além disso, há uma seção sobre o conceito de harmônicos produzidos em uma corda de extremidades fixas. Essa é importante para justificar um dos procedimentos experimentais adotados na prática laboratorial. Ao final desse roteiro, há um questionário onde se pergunta sobre definições e conceitos expostos no texto, que tem como objetivo também garantir a leitura do roteiro pelo aluno. Esse roteiro, na íntegra, está disponível a seguir.

Encorajamos os professores, que venham a usar esse material, que dediquem algum tempo para preparar seus alunos para o tratamento dos dados coletados no laboratório (o que não é feito nesse texto preparatório para o experimento). Isso porque, na primeira aplicação desse produto, os alunos demonstraram muita dificuldade em realizar esse tratamento²⁹.

²⁹ Isso está explícito no roteiro experimental.

Introdução a Ondulatória

– Prática experimental –

Preparação!

Professor André Barcellos

Antes de ir a um laboratório de física você precisa saber de algumas coisas para tirar o melhor proveito da atividade. Primeiramente, saiba que em uma experiência laboratorial você deve estar bastante atento e ser muito cuidadoso. Pequenos detalhes podem fazer toda a diferença no seu resultado e parte da prática consiste exatamente em identificá-los! A seguir você vai encontrar algumas instruções e textos de apoio que devem ser lidos e compreendidos antes da prática. Além disso, há um questionário a ser respondido para que você tenha a oportunidade de verificar se você entendeu bem o que você vai fazer no laboratório.

Aproveite!

2. Descrição da prática

2.1 A corda de um violão

Em um violão, geralmente, podemos usar dois tipos de cordas: metálicas (aço) e de Nylon (um tipo de plástico). Um violão de cordas de aço é projetado para suportar uma tensão maior

do que o violão de cordas de Nylon, mas o funcionamento de ambos é muito semelhante. Na nossa atividade, escolhemos usar cordas de Nylon, justamente por conta de a tensão suportada ser mais baixa e por serem mais baratas, mas os resultados obtidos podem ser generalizados para as cordas de aço.

A figura 1 mostra os detalhes do encordoamento completo de um violão de nylon de seis cordas. É possível distinguir dois tipos de cordas de nylon (as três cordas à esquerda são diferentes das três cordas à direita). Visto de mais perto as cordas parecem feitas de materiais diferentes, metal e nylon. A diferença entre elas é que as três cordas à esquerda da imagem são de nylon revestidas de um fio metálico, enquanto que as três cordas à direita não são revestidas. Outra observação importante é sobre a espessura das cordas: todas são ligeiramente diferentes.



Figura 1: Detalhe das cordas de Nylon de um violão

Se você já toca algum instrumento de cordas sabe como é difícil atingir e manter a afinação correta quando o encordoamento é novo. Para você que ou não percebeu ou nunca viu isso acontecer, permita-me explicar: À medida que tensionamos (esticamos) uma corda de violão, por exemplo, ela emite sons cada vez mais agudos. Quando o instrumentista atinge a nota desejada ele para de apertar a corda. Acontece, que quando ela é tocada novamente observa-se que ela emite um som mais grave, pois ela cedeu um pouco e ficou menos tensionada. Esse fenômeno acontece por conta da tendência de acomodação do material de que é feita a corda, algo parecido com um elástico que, ao ser esticado, faz força para voltar a seu formato original.

Bem, esse comportamento é indesejado na nossa experiência, pois ele pode mascarar alguns resultados. Ainda bem que a solução é simples: usar cordas mais velhas! Por isso não estranhe se você

encontrar no seu aparato experimental uma corda enferrujada ou amassada, está tudo em ordem! Por falar nele, vamos conhecê-lo melhor?

2.2 Descrição do aparato experimental.

A prática no laboratório objetiva estudar o comportamento de uma corda de violão. Para isso contamos com um aparato experimental produzido especialmente para essa prática que é descrito, a seguir. Além disso, uma série de procedimentos para a coleta de dados nos possibilitará fazer uma análise matemática do problema, o que será muito útil para descrever o fenômeno.

A foto 2 é do aparato experimental montado para estudar o comportamento de uma corda de violão. O aparato constitui-se de uma base de madeira que sustenta três parafusos com argola. Como a distância entre eles não é a mesma, obtemos dois segmentos de cordas desiguais em comprimento (indicados pelos números três e quatro na figura). Entre essas argolas passa-se uma corda que é fixa em um reservatório (indicado pelo número 1 na figura). Nesse reservatório, há um orifício (indicado na figura pelo número 2) que permite que o reservatório seja preenchido com facilidade. Também contamos com uma caixa de ressonância (indicado pelo número 5 na figura) que objetiva tornar o som, emitido pelo segmento de corda maior, mais nítido. Agora que você já conhece o instrumento, vamos entender como devemos operá-lo?



Figura 2: Aparato experimental

2.3 Conhecendo os instrumentos de medida

O procedimento que você vai realizar é bem simples. Você vai encher o reservatório com água aos poucos, medirá força que ele faz na corda e a frequência do som emitido por ela. Nada muito complicado não é mesmo? Antes de descrever exatamente o que você vai fazer, devo apresentar os instrumentos que você usará para fazer essas duas medidas.

O instrumento que usaremos para medir a frequência emitida pelas cordas é bem conhecido da maioria de nós. Usaremos um smartphone com boa captação ou um tablet ou até mesmo um notebook, desde que tenham uma captação de áudio razoável. Os testes prévios, feitos para a confecção dessa atividade, foram conduzidos utilizando um iPad mini e foram um sucesso! Para que esses

conhecidos aparelhos nos sirvam de frequencímetro, devemos instalar o aplicativo **GuitarTuner**. Além disso, um fone/microfone será bem vindo. Os detalhes de manuseio e interface do aplicativo serão descritos a frente.



Figura 3: Ipad



Figura 4: Celulares Smartphones



Figura 4: fone e microfone

O instrumento que usaremos para medir o peso que o reservatório fará sobre a corda é um utensílio bem mais comum (figuras 5 e 6). Precisamos apenas medir o volume para determinar a massa de água que usaremos para encher o reservatório, já que sabemos a densidade aproximada da água (cerca de 1 kg/L). De posse do valor da massa de água, calculamos o valor da força peso que ela exerce, utilizando $P = m \cdot g$.



Figura 5: Utensílio doméstico usado para medir o volume de líquidos



Figura 6: Béquer

Utilizaremos um pouco de óleo de cozinha para lubrificar os contatos das cordas para que o atrito não nos atrapalhe

muito a coletar os dados. Para registrá-los certifique-se de ter um caderno, lápis, borracha e uma régua de 50 cm.

Na nossa atividade, iremos registrar vários dados em formas de tabelas. Em seguida, teremos que tratar todos esses dados. Existe um software excelente para esse fim no pacote Office, o Excel. Nele, você poderá registrar suas medidas de maneira simples e tratá-los com facilidade.

Há diversos tutoriais, disponíveis na internet, que ensinam várias ferramentas desses softwares. Uma, em especial, será muito útil para nós: o cálculo de médias aritméticas. Procure aprender sobre essa ferramenta! O uso do Excel é opcional, mas recomendado.

Sobre o que registrar e como registrar você encontrará algumas orientações no roteiro experimental. Agora que você já conhece os instrumentos que você utilizará, vamos entender alguns conceitos físicos para nos prepararmos bem para a nossa prática!

3. Ondas em uma corda com extremidades fixas.

Em uma corda de extremidades fixas, como as do violão, uma onda se comporta de uma maneira peculiar. Na figura a seguir, você encontra uma representação desse comportamento para um pulso.

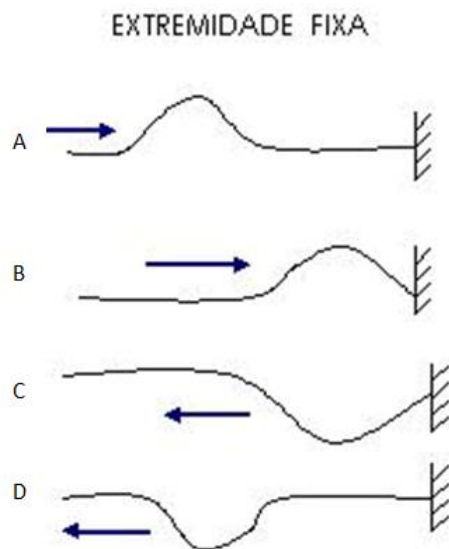


Figura 7: Representação da propagação de um pulso em uma corda de extremidades fixas.

Em (A) o pulso se propaga para direita e, em seguida, encontra uma extremidade fixa (B). Logo em após, ela é refletida em fase oposta (C) e retorna se propagando para a esquerda (D). Esse processo se repete na outra ponta fixa, formando uma onda “confinada” (o nome técnico para isso é onda estacionária) na extensão da corda. Como você sabe, a sucessão de pulsos periódicos forma o que chamamos de onda. Então essa vibração é transmitida para o ar, onde se propaga de uma maneira análoga.

Há uma simulação, **muito interessante**, disponível gratuitamente, do grupo de ensino PHeT da Universidade do Colorado, nos Estados Unidos, sobre o comportamento de uma onda em uma corda (você irá encontrar o link dela no site do

projeto na aba *Material de Apoio*). Acesse e gaste algum tempo explorando-a.

Dependendo do comprimento da corda, certas frequências de vibração da onda formam padrões, como os da figura 8. A esses padrões, chamamos harmônicos.

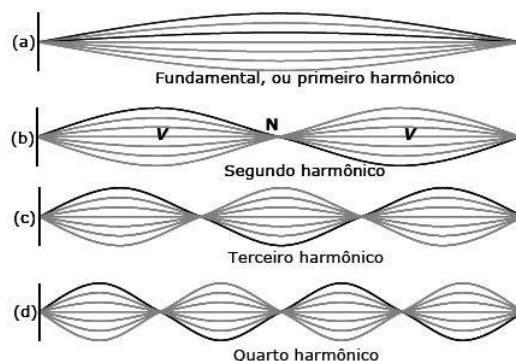


Figura 8: Representação de ondas estacionárias.

Em (a) temos a formação do primeiro harmônico. Ele é formado quando a frequência de oscilação da corda é tal que “cabe dentro da corda” meio **comprimento de onda** (não confunda com comprimento da corda!). De maneira similar, em (b) cabe 1 comprimento de onda, em (c) $1,5 \lambda$ e em (d) 2λ . Perceba que no primeiro harmônico vemos apenas um bojo (parte mais larga), já no segundo harmônico observamos dois bojos, no terceiro, três e, no quarto, 4 bojos.

É importante dizer que não é qualquer frequência de vibração que vai formar esse padrão, é necessário que a onda “caiba” dentro da extensão da corda! Perceba, então, que há uma relação estreita entre o comprimento da corda, L , e o comprimento de onda, λ . **No primeiro**

harmônico $L = \lambda/2$, no segundo harmônico $L = \lambda$ e assim por diante. Essa informação é muito importante para a sua prática experimental, então esteja seguro de ter entendido!

Questionário Pré-Experimental

1. Explique as diferenças entre as cordas de violão de aço e de nylon.
2. Explique qual é a relação entre a espessura das cordas e a frequência emitida por elas.
- 3 Explique qual é a relação entre a tensão em uma corda e a frequência emitida por ela.
- 4 Liste os materiais e instrumentos que serão utilizados na prática.
5. Descreva como utilizaremos cada um dos instrumentos e materiais utilizados na prática.
6. Defina onda estacionária. Cite alguns exemplos
7. Explique o que são harmônicos em uma corda de extremidades fixas. Quais são as condições necessárias que eles se formem?
8. Observe a figura 8 novamente e responda: Qual é a relação entre o comprimento da corda, L , e o comprimento de onda, λ , para o terceiro e quarto harmônicos?
9. Acesse a simulação do Phet Colorado e responda: Nessa simulação é possível formar ondas estacionárias? Em que frequência aproximadamente estaria o primeiro harmônico?

A4. Roteiro experimental

O roteiro experimental foi utilizado apenas no dia da aula de laboratório. Ele está disponível para acesso no website do produto. Em forma de passo-a-passo, esse roteiro detalha cada uma das ações que devem ser tomadas para executar a atividade proposta. Uma vez colhidos os dados, há uma seção nesse roteiro que explica como deve ser feita a análise desses dados, em três partes. Em cada uma delas se propõe alguma manipulação matemática, seja em forma de tabela ou gráfico, para que dali seja inferido algum resultado físico. Ao final, é proposta uma atividade para casa, onde o estudante deve organizar tudo o que foi feito no laboratório em um relatório. Na primeira aplicação desse produto, os estudantes demonstraram grande dificuldade em realizar a parte três desse roteiro. Por isso, recomenda-se dedicar um tempo na sequência didática para a preparação deles em relação a essas ferramentas matemáticas.

Introdução a Ondulatória

– Prática experimental –

Mãos a obra!

Professor André Barcellos

Agora que você sabe exatamente o que vai fazer no laboratório, vamos à prática! Isso já foi dito várias vezes, mas não custa lembrar:

É NECESSÁRIO ATENÇÃO E SILÊNCIO AO REALIZAR SUA EXPERIÊNCIA!

Como se trata de uma experiência com sons, sua conversa pode alterar muito os resultados, de forma a torná-los inúteis.

Se estiver disposto a fazer essa prática seriamente, então vamos pôr as mãos na massa!

2. Relembrando

Na preparação, você conheceu os instrumentos que usaremos e como iremos usá-lo. A seguir, você encontrará novamente a rotina que você seguirá, passo a passo. Releia-a atentamente.

Procedimentos Experimentais

Para preparar o aparato experimental para as medidas que serão feitas, siga os passos a seguir:

1º passo: lubrique os contatos da corda com as argolas metálicas. Para fazer isso, utilize um lápis para cobrir de grafite toda a extensão da argola metálica que entrará em contato com a corda.

2º passo: Posicione os microfones no interior da caixa de ressonância do aparato experimental e os conecte em seu tablet, smartphone ou notebook.

3º passo: abra o aplicativo e certifique-se que ele esteja captando os sons pelo microfone. Para isso você pode falar alto ou próximo dele.

4º passo: aproxime a caixa de ressonância o máximo possível da corda sem que ela atrapalhe na vibração da corda.

5º passo: mantenha o reservatório o mais parado possível e sem forçá-lo para baixo.

6º passo: Com o auxílio da régua, meça o comprimento dos dois segmentos de corda do aparato experimental. Registre esses dados em seu caderno.

Agora que está tudo preparado para a medição, faça a primeira medida com o reservatório vazio. Atenção! É necessário um ambiente silencioso para que o frequencímetro funcione bem, portanto, evite conversar.

7º passo: toque a corda e certifique-se que o reservatório não se desloque. Anote a frequência indicada no frequencímetro.

8º passo: meça 50 ml de água com o auxílio de um béquer ou um utensílio similar.

9º passo: encha o reservatório do aparato experimental com 50 ml e repita o 7º passo.

Repita os passos 7, 8 e 9 até atingir 2 litros de água no reservatório.

Anote esses dados em uma tabela organizada como a do exemplo a seguir:

Frequência Do segmento de corda menor	Frequência Do segmento de corda maior	Quantidade de água dentro do reservatório
Valor 1ª medida	Valor 1ª medida	Valor 1ª medida
Valor 2ª medida	Valor 2ª medida	Valor 2ª medida
Valor 3ª medida	Valor 3ª medida	Valor 3ª medida

Figura 1: Exemplo de frequência medidas nos dois segmentos de corda sob várias tensões.

Você deve repetir esse mesmo procedimento tantas vezes quantas forem necessárias, de forma que cada componente do grupo tenha a oportunidade de fazer todas as atividades. Procure participar ativamente do processo!

3. Análise dos dados

De posse dos dados experimentais colhidos é hora de interpretá-los. Primeiramente, organize as tabelas produzidas durante a atividade no Excel, se você já não fez isso no laboratório. Vamos dividir a análise dos dados em três partes.

3.1 Parte I

Feita a primeira tabela, calculamos as médias das frequências obtidas em cada tensão medida. Veja o exemplo a seguir:

EXEMPLO: *Você mediu pelo menos 3 vezes a frequência dos dois segmentos de cordas sob uma tensão de 2N (200 ml de água no reservatório). Esses dados são representados na tabela a seguir:*

Frequência do segmento de corda maior (Hz)	Frequência do segmento de corda menor (Hz)
Valor 1ª medida	Valor 1ª medida
Valor 2ª medida	Valor 2ª medida
Valor 3ª medida	Valor 3ª medida

Tabela 2: Exemplo de frequência medidas nos dois segmentos de corda sob a tensão de 2N

A seguir, calcule a média aritmética simples para cada um dos segmentos de corda. Veja os exemplos:

Média das frequências do segmento de corda maior sob tensão de 2N:

$$F_m = \frac{1^{\text{a}} \text{ medida} + 2^{\text{a}} \text{ medida} + 3^{\text{a}} \text{ medida}}{3} = \text{m\u00e9dia}$$

M\u00e9dia das frequ\u00eancias do segmento de corda menor sob tens\u00e3o de 2N:

$$F_m = \frac{1^{\text{a}} \text{ medida} + 2^{\text{a}} \text{ medida} + 3^{\text{a}} \text{ medida}}{3} = \text{m\u00e9dia}$$

Voc\u00ea pode utilizar o Excel para calcular essas m\u00e9dias, bem r\u00e1pido! Organize esses dados em uma nova tabela como a do exemplo a seguir:

M\u00e9dia das frequ\u00eancia do segmento de corda menor (Hz)	M\u00e9dia das frequ\u00eancia do segmento de corda maior (Hz)	Quantidade de \u00e1gua no reservat\u00f3rio (ml)
Valor 1 ^a medida	Valor 1 ^a medida	Valor 1 ^a medida
Valor 2 ^a medida	Valor 2 ^a medida	Valor 2 ^a medida
Valor 3 ^a medida	Valor 3 ^a medida	Valor 3 ^a medida

Tabela 3: Exemplo de m\u00e9dia de frequ\u00eancias medidas nos dois segmentos de corda sob v\u00e1rias tens\u00f5es

Responda:

1. Voc\u00ea encontrou alguma proporcionalidade entre as frequ\u00eancias medidas no segmento de corda maior e o segmento de corda menor, sob mesma tens\u00e3o, mesmo que aproximadamente? Se sim, qual?

3.2 Parte II

Ainda com as mesmas m\u00e9dias que voc\u00ea calculou e organizou em forma de tabela, calcule para cada tens\u00e3o o per\u00edodo de oscila\u00e7\u00e3o da corda. Para isso basta utilizar $T = \frac{1}{F}$. Organize esses dados em outra tabela, como a dos exemplos anteriores.

Agora sabemos o tempo necess\u00e1rio para uma oscila\u00e7\u00e3o completa de cada segmento de corda. Sabemos o comprimento de cada um dos segmentos de corda. Ent\u00e3o, \u00e9 f\u00e1cil calcular com que velocidade m\u00e9dia esse pulso se propaga na corda! Basta utilizar o conhecido

$$V = \frac{\Delta S}{\Delta T}$$

Onde ΔS \u00e9 o comprimento de onda que se propaga na corda e ΔT o per\u00edodo de oscila\u00e7\u00e3o da corda. Lembre-se que o comprimento de onda, em uma onda estacion\u00e1ria, do harm\u00f4nico fundamental \u00e9 duas vezes o comprimento da corda. Calcule, para cada um dos segmentos de corda e para cada tens\u00e3o, a velocidade m\u00e9dia e responda:

2. Para uma mesma tens\u00e3o, voc\u00ea encontrou alguma proporcionalidade entre as velocidades m\u00e9dias dos segmentos de corda, mesmo que aproximadamente? Se sim, qual?

3.3 Parte III

Agora, organize em outra tabela os dados de tensão na corda e a velocidade de propagação da onda para cada segmento de corda, como nos exemplo anteriores.

Para calcular a tensão sob os segmentos de corda, basta calcular a força peso que a água dentro do reservatório faz sobre a corda ($\vec{P} = m \cdot \vec{g}$). Utilize, para simplificar nossos calculos, que $g = 9,8\text{m/s}^2$ e que 1 L de água é igual a 1 Kg de água. Assim, 200 ml de água exercem 2 N de força sobre a corda.

Utilizando um papel milimetrado (na última página desse roteiro você encontrará um), represente os pontos da tabela de velocidade média versus tensão, como pares ordenados (da mesma forma que você aprendeu na disciplina de matemática). Faça isso para o segmento de corda maior, e outra vez para o segmento menor.

Responda:

3. Os pontos que você representou são colineares (ou seja, existe uma reta

única que une esses pontos)? Na sua opinião, por que eles são dessa forma?

4. Como você aprendeu na matemática, uma função linear representa uma reta no gráfico, assim como uma função quadrática representa uma parábola. Qual função que você conhece representaria os pontos experimentais que você marcou no papel milimetrado? Por quê?

5. Tente descobrir **a função** de velocidade de propagação na corda e tensão sob a corda. Anote os passos que você usou para encontrá-la:

4. Atividade para casa

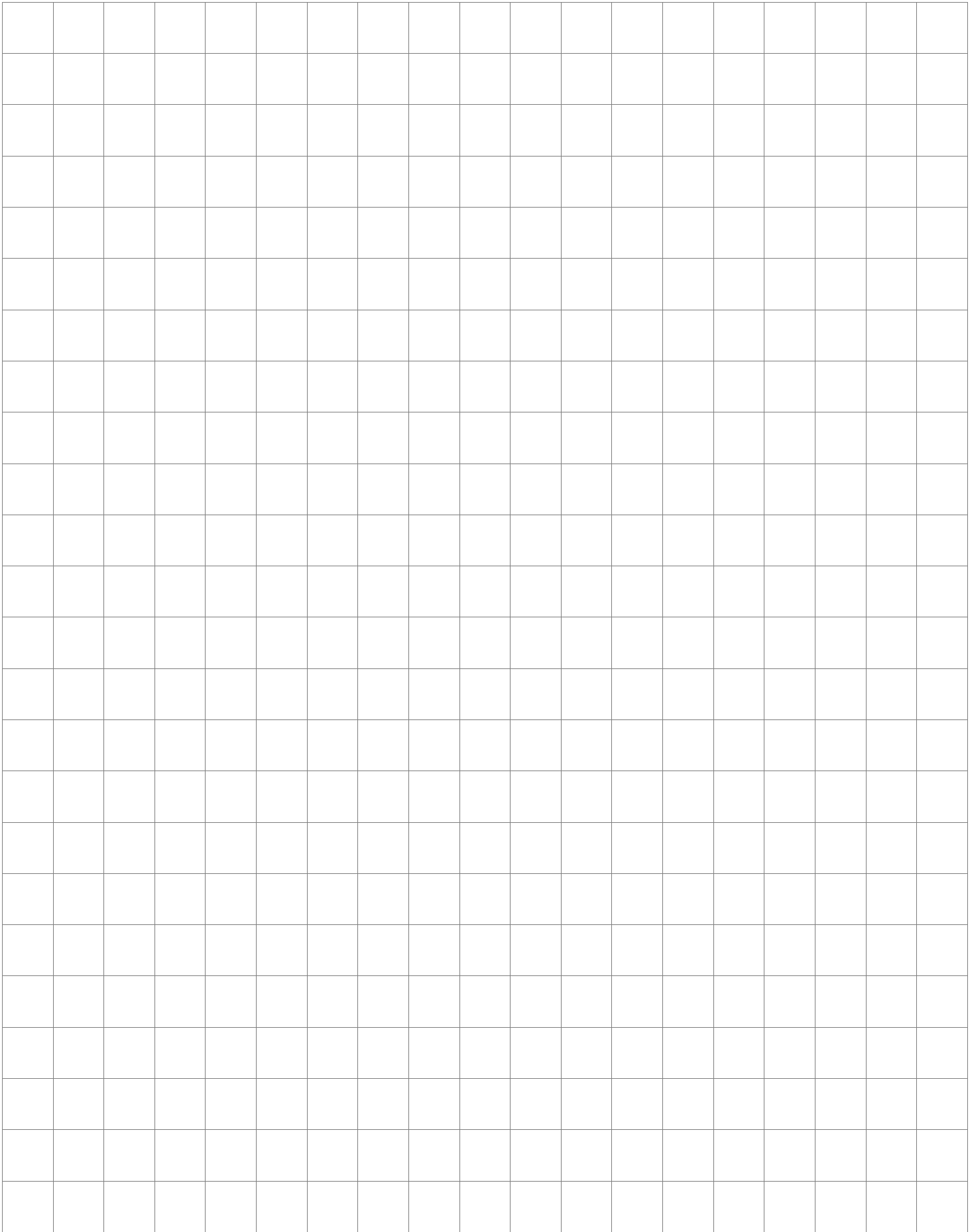
Durante a prática experimental, você fez diversas anotações e se esforçou para responder as questões propostas. Agora é hora de organizar toda essa informação!

Como atividade para casa, produza um relatório sobre a atividade que você fez

em laboratório. Isso significa descrever, com o máximo de detalhes possível, seus resultados e análises. Organize as tabelas, descrições e as respostas das cinco questões do roteiro. Pode ser digitado, se preferir!

Sua organização contará pontos, então capriche!

Boa atividade!



A5. Teste final

O teste final foi elaborado aos moldes do teste prévio, porém contendo mais questões discursivas e incluindo uma questão sobre a prática experimental realizada. Para a realização desse teste final escolhemos permitir o uso do mapa conceitual como consulta, elaborado individualmente por cada estudante ao longo das aulas. Ao permitir o uso de uma “cola” foi necessário prestar muita atenção na elaboração da prova. Ela não podia ser uma prova apenas conceitual de forma que os estudantes apenas copiassem o que tinham escrito no mapa. Muito pelo contrário, a intenção desse teste final é celebrar o processo de aprendizagem, ou seja, aqueles estudantes que, de fato, desenvolveram seu mapa conceitual de maneira sistemática (como solicitado na aula três) e no processo fizeram suas próprias associações deveriam ser privilegiados em relação àqueles estudantes que copiaram de alguma fonte.

Propositalmente, a construção do mapa conceitual não foi acompanhada pelo professor. Não esperávamos mapas conceituais muito completos e corretos. A intenção de usá-los foi verificar através deles, indícios de formação de novas categorias e/ou a complementação de categorias já existentes dentro da estrutura cognitiva do estudante, sintomas de aprendizagem. Em uma aplicação futura aconselha-se que o professor acompanhe essa produção, talvez em um formato que isso seja feito em sala de aula mesmo (nos primeiros ou últimos dez minutos de cada aula, por exemplo), pois mais alunos do que esperávamos não fizeram seus mapas, na primeira aplicação desse produto.

Parte 1 – Você entendeu os conceitos básicos sobre ondulatória?

Utilizando os conceitos que você relacionou no seu mapa conceitual, explique os mecanismos físicos envolvidos na propagação dos sons a partir de uma corda de violão, respondendo as seguintes questões:

Questão 1 – Quando uma corda de um violão é tocada perto de nós, escutamos sons, ou seja, a oscilação dessa corda é transmitida de alguma forma pelo ar. Explique como acontece essa transmissão.

Questão 2 – Nas últimas aulas, lhe foi apresentado o funcionamento das cordas de um violão. Você pôde perceber que quanto menor for o segmento de corda vibrante mais agudo é o som. Explique por que isso acontece.

Questão 3 – Ao observar uma pessoa tocar violão, percebemos que o músico é capaz de fazer seu instrumento emitir sons agudos (“finos”) e sons graves (“grossos”). Dentre as alternativas abaixo, marque aquela que melhor explicaria para você como isso é possível:

- a) Sons graves são emitidos nas cordas mais grossas e sons agudos são emitidos em cordas mais finas. Uma corda mais grossa não consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina.
- b) Sons graves são emitidos quando as cordas oscilam (vibram) lentamente em relação a sons agudos que são emitidos quando as cordas oscilam mais rapidamente. Uma corda mais grossa não consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina.
- c) Sons graves são emitidos nas cordas mais grossas e sons agudos são emitidos em cordas mais finas. Uma corda mais grossa consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina, tudo vai depender da posição dos dedos do violonista.
- d) Sons graves são emitidos quando as cordas oscilam (movimento de sobe e desce) lentamente em relação a sons agudos que são emitidos quando as cordas oscilam mais rapidamente. Uma corda mais grossa consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina, tudo vai depender da posição dos dedos do violonista.

Questão 4 - Ao observar uma pessoa tocar violão, percebemos que em diversos momentos o violonista toca várias cordas simultaneamente (ao mesmo tempo) formando o que se denomina em música como ACORDES. Entre as alternativas a seguir, indique aquela que melhor caracteriza o fenômeno observado:

- a) Ao tocar várias cordas ao mesmo tempo os sons de todas se “misturam” sempre formando apenas um único som mais intenso.
- b) Ao tocar várias cordas ao mesmo tempo os sons de todas se “misturam”, mas ainda assim é possível discernir (entender) cada um dos sons emitido por cada corda sempre.

- c) Como nenhuma corda consegue emitir o mesmo som que outra corda, ao tocar várias cordas ao mesmo tempo é sempre possível discernir (entender) cada um dos sons emitido por cada corda.
- d) Como é possível que uma corda consiga emitir o mesmo som que outra corda, ao tocar várias cordas ao mesmo tempo é possível que estes sons se “misturem” e produza um som único.

Parte 2 – Sobre a prática experimental

Durante nosso projeto, você foi uma vez ao laboratório e teve a chance de entender como um cientista pode fazer novas descobertas. Você calibrou os instrumentos, mediu, ajustou, mediu novamente, anotou os dados e, por fim, os analisou. Sobre essa prática, responda as seguintes questões:

Questão 5 - O aparato experimental usado era composto de dois segmentos de cordas, um maior que o outro. Em média, o segmento de corda maior tinha um tamanho de 36 cm, enquanto que o segmento de corda menor, algo em torno de 16 cm. Ao tanger (tocar) o segmento maior, escutamos um som diferente do segmento de corda menor. Sobre essa experiência, marque a alternativa que para você diz que tipo de som escutaríamos e explica melhor o motivo disso acontecer.

- a) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo (“fino”) do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está sob maior tensão (mais esticado) do que o segmento de corda menor.
- b) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo (“fino”) do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está menos esticado do que o segmento de corda menor.
- c) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais grave (“grosso”) do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está menos esticado do que o segmento de corda menor.
- d) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais grave (“grosso”) do que o segmento de corda menor. Os dois segmentos estão sob mesma tensão e o que explica um som ser mais agudo do que o outro é justamente a diferença de tamanho entre os segmentos de corda.

Questão 6 - No laboratório, se mediu frequência de oscilação do segmento de corda maior e menor em diferentes tensões. A seguir, você encontra uma tabela com alguns valores encontrados em uma medição.

Frequência de oscilação do segmento de corda maior	Frequência de oscilação do segmento de corda menos	Quantidade de água dentro do reservatório
82 Hz	160 Hz	200 ml
90 Hz	167 Hz	250 ml
93 Hz	182hz	300 ml
202 Hz	188hz	350 ml
96 Hz	198hz	400 ml

Sobre essa tabela, responda:

- O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo ou mais grave do que o som emitido pelo segmento de corda menor? Por quê?
- Quando o reservatório tinha 350 ml, a frequência medida no segmento maior foi bem superior à esperada. Aponte algumas possíveis causas.
- O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo do que o som emitido pelo segmento de corda menor quando há 350 ml de água no reservatório? Por quê?

A6. Pesquisa de satisfação

Por fim, aplicamos uma pesquisa de satisfação (apêndice A6) para averiguar os pontos fortes e fracos da nossa primeira aplicação desse produto. Essa pesquisa é completamente dispensável em aplicações futuras, mas pode servir de interessante instrumento de medida do produto.

Essa pesquisa foi realizada utilizando, também, o GoogleForms. Seguem as questões utilizadas:

O que você achou do projeto?

1. Esse projeto foi desenvolvido com o objetivo de tornar mais claro conceitos básicos de ondulatória. Você acha que aprendeu mais com ele do que se tivesse tido aulas tradicionais?
a) Sim
b) Não
2. Por que?
3. Neste projeto, você teve a oportunidade de ir ao laboratório para investigar mais a fundo o funcionamento das cordas de um violão. Você acha que essa prática te ajudou a compreender melhor os conceitos de ondulatória previamente desenvolvidos em sala de aula?
a) Sim
b) Não
4. Por que?
5. Em uma escala de 1 a 5, como você avalia a relevância do conteúdo trabalhado nesse projeto para sua formação acadêmica?

1 2 3 4 5

Nenhuma relevância. ● ● ● ● ● Alta relevância.
6. Em uma escala de 1 a 5, como você avalia a qualidade do material textual (listas de exercícios, textos no site e roteiros experimentais) produzido/utilizado neste projeto?

Material de baixa qualidade e com muitos erros. ● ● ● ● ● Material de alta qualidade, textos muito claros e de fácil compreensão.
7. Em uma escala de 1 a 5, como você avalia a qualidade do material produzido para a prática experimental? Isso inclui: roteiro pré-experimental, roteiro experimental e o monócórdio.

Material de baixa qualidade e que tornou a prática pouco efetiva. ● ● ● ● ● Material de alta qualidade e que possibilitou uma prática experimental muito proveitosa.

8. Em uma escala de 1 a 5, como você avalia o tempo que você teve para produzir o relatório da atividade experimental?

1 2 3 4 5

Pouquíssimo tempo. ● ● ● ● ● Muito tempo.

9. Em uma escala de 1 a 5, como você avalia as discussões sobre os dados experimentais que você coletou no laboratório?

1 2 3 4 5

Discussões inúteis. Confundiram mais do que esclareceram. ● ● ● ● ● Discussões ótimas. Muito interessantes e esclarecedoras.

10. Em uma escala de 1 a 5, como você avalia o projeto como um todo?

Projeto péssimo. Foi tempo perdido e nenhum professor deveria usar metodologia semelhante. ● ● ● ● ● Projeto excelente. Aprendi muito mais do que em aulas tradicionais. Os professores poderiam utilizar metodologias semelhantes com mais frequência.

11. Em uma escala de 1 a 5, como você avalia a regência do professor?

Péssima, não entendi nada o que foi explicado; ● ● ● ● ● Excelente, tudo foi dito com muita clareza.

12. Alguma sugestão/crítica/elogio?

A7. Materiais e detalhes de construção do monocórdio

Desde a concepção inicial do produto, nós buscamos montar um experimento de baixo custo, aproveitando e reaproveitando o maior número de materiais e ferramentas possível. No projeto original, iríamos reproduzir um monocórdio grego clássico com escala móvel e caixa acústica acoplada de madeira. Porém, não só teríamos que arcar com custos elevados como também seriam operação um pouco mais difícil pelos alunos e talvez desestimulasse a aplicação futura desse produto. Nessa concepção original, seriam posicionados pesos conhecidos de forma a tencionar à corda com valores de tensão facilmente calculáveis. Tivemos que explorar outras possibilidades e, após a construção de alguns protótipos, o aparato experimental utilizado nesse projeto foi concebido.

Utilizamos uma placa de madeirite de 2mx2m para construir a base de madeira. Cortamo-la em 16 peças de 20cmX35cm, que serviram como tampo e base, e, mais 16 peças de 45cmX10cm, que serviram como pilares na construção dessa estrutura (ver foto 40). Há um motivo pelo o qual foram cortadas nessas medidas. É necessário atentar-se, ao construir esse aparato, ao fato de que após ser instalada, a garrafa com água pode gerar um torque indesejado, inviabilizando a prática experimental. Por tanto, ao construir esse aparato, deixe considerável espaço para a garrafa (foto 41).

Utilizamos doze canaletas (ver fotos 40 e 41) para fixar as peças de madeira umas nas outras, com parafusos. Dessa forma construímos oito bases de madeira. Apesar de ter utilizado apenas seis na prática experimental, junto aos alunos, deixamos duas de reserva caso algum imprevisto acontecesse.



Foto 40: Peças de 20x35cm e 45x10cm.

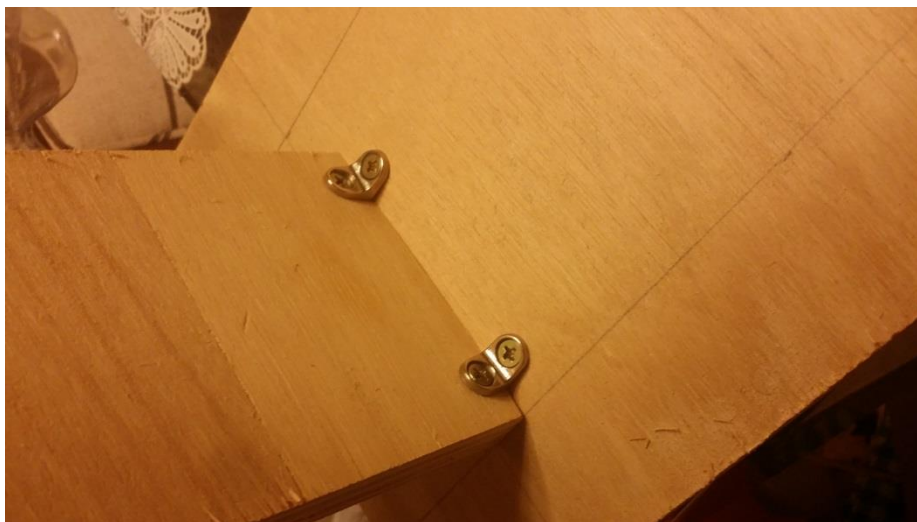


Foto 41: Detalhe de instalação das canaletas.

Usamos as seis cordas de um encordoamento padrão para violão de nylon e as instalamos, com auxílio de três ganchos, na estrutura de madeira. Uma ponta da corda deve ser fixada na base de madeira enquanto, na outra ponta pendura-se uma garrafa pet de dois litros (ver foto 1). A distância entre os ganchos deve ser tal que os segmentos de corda apresentem uma proporção próxima de 1 para 2. A garrafa pet foi furada lateralmente para facilitar a adição posterior de água no reservatório.

Construímos a caixa de ressonância com uma caixa de sapato, fazendo um furo central de diâmetro aproximado de cinco centímetros, sem muita precisão. Esta caixa de ressonância serve apenas para tornar mais nítido o primeiro harmônico que é emitido pela corda para o frequencímetro. Ela é dispensável se o ambiente de aplicação for suficientemente silencioso.



Foto 1 : Aparato experimental montado. 1: Reservatório. 2: Orifício lateral para auxiliar o enchimento do reservatório. 3: Estrutura de madeira. 4: Corda de violão. 5: Caixa de ressonância

Para evitar que a corda apresente elasticidade indesejada na hora de coletar os dados, nós enchemos os reservatórios com dois litros d'água para submetê-las à tensão máxima de utilização na experiência dois dias antes da utilização do aparato experimental. Esse procedimento é importante na montagem, pois cordas muito novas tendem a se comportar plasticamente o que torna as medida muito imprecisas. Quando nova, a corda de um violão ao

ser tensionada, afina-se e tende a “ceder” fazendo com que densidade linear da corda varie com o tempo. Por isso, é necessário retencionar diversas vezes até que as cordas deixem de apresentar histerese mecânica.

Outro procedimento importante a ser feito é a lubrificação dos contatos entre a corda e os ganchos. Se isso não for feito adequadamente, quando a tensão da corda for aumentada a corda tende a travar no gancho central produzindo uma diferença de tensão nos segmentos de corda. Para realizar esse procedimento, utilizamos grafite ou óleo de cozinha. Pode acontecer também da corda, mesmo lubrificada, travar nos ganchos pelo fato deles estarem desalinhados, portanto, ao construir a estrutura de madeira, é importante garantir um alinhamento apropriado.

Anexo

Teste final do aluno A:

Pós-Teste

Parte 1 – Você entendeu os conceitos básicos sobre ondulatória?

Utilizando os conceitos que você relacionou no seu mapa conceitual, explique os mecanismos físicos envolvidos na propagação dos sons a partir de uma corda de violão, respondendo as seguintes questões:

Questão 1 – Quando uma corda de um violão é tocada perto de nós, escutamos sons, ou seja, a oscilação dessa corda é transmitida de alguma forma pelo ar. Explique como acontece essa transmissão.

O som é formado por ondas mecânicas, obrigatoriamente também longitudinais. Isso significa dizer que para se propagar no espaço é necessário um meio para tal. Ao vibrarmos a corda do violão, esta agita partículas encontradas no ar, que em ação em cadeia chegam até nossos ouvidos.

Questão 2 – Nas últimas aulas, lhe foi apresentado o funcionamento das cordas de um violão. Você pôde perceber que quanto menor for o segmento de corda vibrante mais agudo é o som. Explique por que isso acontece.

Quanto menor a corda, menor será T . Quanto menor for T em um intervalo de tempo ~~maior~~ será menor será a velocidade. Como V está ligado ao inverso de T , a frequência será maior (a ~~tem~~ vibração gerará mais oscilações). Quanto maior a frequência, mais agudo é o som.

Questão 3 – Ao observar uma pessoa tocar violão, percebemos que o músico é capaz de fazer seu instrumento emitir sons agudos ("finos") e sons graves ("grossos")

Dentre as alternativas abaixo, marque aquela que melhor explicaria para você como isso é possível:

- a) Sons graves são emitidos nas cordas mais grossas e sons agudos são emitidos em cordas mais finas. Uma corda mais grossa não consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina.
- b) Sons graves são emitidos quando as cordas oscilam (vibram) lentamente em relação a sons agudos que são emitidos quando as cordas oscilam mais rapidamente. Uma corda mais grossa não consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina.
- c) Sons graves são emitidos nas cordas mais grossas e sons agudos são emitidos em cordas mais finas. Uma corda mais grossa consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina, tudo vai depender da posição dos dedos do violonista.
- d) Sons graves são emitidos quando as cordas oscilam (movimento de sobe e desce) lentamente em relação a sons agudos que são emitidos quando as cordas oscilam mais rapidamente. Uma corda mais grossa consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina, tudo vai depender da posição dos dedos do violonista.

Questão 4 - Ao observar uma pessoa tocar violão, percebemos que em diversos momentos o violonista toca várias cordas simultaneamente (ao mesmo tempo) formando o que se denomina em música como ACORDES. Entre as alternativas a seguir, indique aquela que melhor caracteriza o fenômeno observado:

- a) Ao tocar várias cordas ao mesmo tempo os sons de todas se "misturam" sempre formando apenas um único som mais intenso.
- b) Ao tocar várias cordas ao mesmo tempo os sons de todas se "misturam", mas ainda assim é possível discernir (entender) cada um dos sons emitido por cada corda sempre.
- c) Como nenhuma corda consegue emitir o mesmo som que outra corda, ao tocar várias cordas ao mesmo tempo é sempre possível discernir (entender) cada um dos sons emitido por cada corda.
- d) Como é possível que uma corda consiga emitir o mesmo som que outra corda, ao tocar várias cordas ao mesmo tempo é possível que estes sons se "misturem" e produza um som único.

Parte 2 – Sobre a prática experimental

Durante nosso projeto, você foi uma vez ao laboratório e teve a chance de entender como um cientista pode fazer novas descobertas. Você calibrou os instrumentos, mediu, ajustou, mediu novamente, anotou os dados e, por fim, os analisou. Sobre essa prática, responda as seguintes questões:

Questão 5 - O aparato experimental usado era composto de dois segmentos de cordas, um maior que o outro. Em média, o segmento de corda maior tinha um tamanho de 36 cm, enquanto que o segmento de corda menor, algo em torno de 16 cm. Ao tanger (tocar) o segmento maior, escutamos um som diferente do segmento de corda menor. Sobre essa experiência, marque a alternativa que para você diz que tipo de som escutaríamos e explica melhor o motivo disso acontecer

- a) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo ("fino") do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está sob maior tensão (mais esticado) do que o segmento de corda menor. *E*
- b) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo ("fino") do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está menos esticado do que o segmento de corda menor. *E*
- c) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais grave ("grosso") do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está menos esticado do que o segmento de corda menor. *E*
- d) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais grave ("grosso") do que o segmento de corda menor. Os dois segmentos estão sob mesma tensão e o que explica um som ser mais agudo do que o outro é justamente a diferença de tamanho entre os segmentos de corda.

Questão 6 - No laboratório, se mediu frequência de oscilação do segmento de corda maior e menor em diferentes tensões. A seguir, você encontra uma tabela com alguns valores encontrados em uma medição.

Frequência de oscilação do segmento de corda maior	Frequência de oscilação do segmento de corda menor	Quantidade de água dentro do reservatório
82 Hz	160 Hz	200 ml
90 Hz	167 Hz	250 ml
93 Hz	182 Hz	300 ml
202 Hz	188 Hz	350 ml
96 Hz	198 Hz	400 ml

Sobre essa tabela, responda:

- O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo ou mais grave do que o som emitido pelo segmento de corda menor? Por quê?
 - Quando o reservatório tinha 350 ml, a frequência medida no segmento maior foi bem superior à esperada. Aponte algumas possíveis causas.
 - O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo do que o som emitido pelo segmento de corda menor quando há 350 ml de água no reservatório? Por quê?
- a. O som emitido da corda maior é mais grave do que o da corda menor, pois ambos estando sob a mesma tensão só diferem no comprimento, achando valores diferentes para λ , o que muda a frequência.
- b. O aparelho capta vários harmônicos, muito provavelmente, desta vez captou um harmônico maior do que o da sequência que estava se desenvolvendo.
- c. Não, o valor de 350 ml foi erro do aparelho em achar o menor harmônico (valor correspondente a sequência), passando para 602 Hz, mas isso não torna o som agudo pois seu λ continua maior.

Teste final do aluno L:

Pós-Teste

Parte 1 – Você entendeu os conceitos básicos sobre ondulatória?

Utilizando os conceitos que você relacionou no seu mapa conceitual, explique os mecanismos físicos envolvidos na propagação dos sons a partir de uma corda de violão, respondendo as seguintes questões:

Questão 1 – Quando uma corda de um violão é tocada perto de nós, escutamos sons, ou seja, a oscilação dessa corda é transmitida de alguma forma pelo ar. Explique como acontece essa transmissão.

A corda é tocada, sai som que foi enviado na caixa do violão. A corda vibra em formato de onda ocorrendo uma transmissão. A onda é qualquer perturbação que se propaga em um meio.

Questão 2 – Nas últimas aulas, lhe foi apresentado o funcionamento das cordas de um violão. Você pôde perceber que quanto menor for o segmento de corda vibrante mais agudo é o som. Explique por que isso acontece.

O som emitido pelo segmento de corda maior está menos esticado e é mais grave do que o segmento de corda menor. Os dois segmentos estão sob mesma tensão e o que explica um som ser mais agudo do que o outro é a diferença de tamanho entre os segmentos de corda.

Questão 3 – Ao observar uma pessoa tocar violão, percebemos que o músico é capaz de fazer seu instrumento emitir sons agudos ("finos") e sons graves ("grossos").

Dentre as alternativas abaixo, marque aquela que melhor explicaria para você como isso é possível:

- a) Sons graves são emitidos nas cordas mais grossas e sons agudos são emitidos em cordas mais finas. Uma corda mais grossa não consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina.
- b) Sons graves são emitidos quando as cordas oscilam (vibram) lentamente em relação a sons agudos que são emitidos quando as cordas oscilam mais rapidamente. Uma corda mais grossa não consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina.
- c) Sons graves são emitidos nas cordas mais grossas e sons agudos são emitidos em cordas mais finas. Uma corda mais grossa consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina, tudo vai depender da posição dos dedos do violonista.
- d) Sons graves são emitidos quando as cordas oscilam (movimento de sobe e desce) lentamente em relação a sons agudos que são emitidos quando as cordas oscilam mais rapidamente. Uma corda mais grossa consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina, tudo vai depender da posição dos dedos do violonista.

Questão 4 - Ao observar uma pessoa tocar violão, percebemos que em diversos momentos o violonista toca várias cordas simultaneamente (ao mesmo tempo) formando o que se denomina em música como ACORDES. Entre as alternativas a seguir, indique aquela que melhor caracteriza o fenômeno observado:

- a) Ao tocar várias cordas ao mesmo tempo os sons de todas se "misturam" sempre formando apenas um único som mais intenso.
- b) Ao tocar várias cordas ao mesmo tempo os sons de todas se "misturam", mas ainda assim é possível discernir (entender) cada um dos sons emitido por cada corda sempre.
- c) Como nenhuma corda consegue emitir o mesmo som que outra corda, ao tocar várias cordas ao mesmo tempo é sempre possível discernir (entender) cada um dos sons emitido por cada corda.
- d) Como é possível que uma corda consiga emitir o mesmo som que outra corda, ao tocar várias cordas ao mesmo tempo é possível que estes sons se "misturem" e produza um som único.

Parte 2 – Sobre a prática experimental

Durante nosso projeto, você foi uma vez ao laboratório e teve a chance de entender como um cientista pode fazer novas descobertas. Você calibrou os instrumentos, mediu, ajustou, mediu novamente, anotou os dados e, por fim, os analisou. Sobre essa prática, responda as seguintes questões:

Questão 5 - O aparato experimental usado era composto de dois segmentos de cordas, um maior que o outro. Em média, o segmento de corda maior tinha um tamanho de 36 cm, enquanto que o segmento de corda menor, algo em torno de 16 cm. Ao tanger (tocar) o segmento maior, escutamos um som diferente do segmento de corda menor. Sobre essa experiência, marque a alternativa que para você diz que tipo de som escutaríamos e explica melhor o motivo disso acontecer.

- a) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo ("fino") do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está sob maior tensão (mais esticado) do que o segmento de corda menor.
- b) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo ("fino") do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está menos esticado do que o segmento de corda menor.
- (c) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais grave ("grosso") do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está menos esticado do que o segmento de corda menor.
- d) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais grave ("grosso") do que o segmento de corda menor. Os dois segmentos estão sob mesma tensão e o que explica um som ser mais agudo do que o outro é justamente a diferença de tamanho entre os segmentos de corda.

Questão 6 - No laboratório, se mediu frequência de oscilação do segmento de corda maior e menor em diferentes tensões. A seguir, você encontra uma tabela com alguns valores encontrados em uma medição.

Frequência de oscilação do segmento de corda maior	Frequência de oscilação do segmento de corda menor	Quantidade de água dentro do reservatório
82 Hz	100 Hz	200 ml
90 Hz	107 Hz	250 ml
93 Hz	102 Hz	300 ml
202 Hz	188 Hz	350 ml
96 Hz	198 Hz	400 ml

Sobre essa tabela, responda:

- O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo ou mais grave do que o som emitido pelo segmento de corda menor? Por quê?
- Quando o reservatório tinha 350 ml, a frequência medida no segmento maior foi bem superior à esperada. Aponte algumas possíveis causas.
- O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo do que o som emitido pelo segmento de corda menor quando há 350 ml de água no reservatório? Por quê?

a) O som é mais grave. Porque vibram lentamente em relação ao som agudo que é emitido quando as cordas oscilam rapidamente.

b) Não. Porque a corda maior está menos esticada que a corda menor.

c) Não. Não. Nesse caso sim. Quanto mais alto o valor em Hz, mais agudo é o som.

Teste final do aluno V:

Pós-Teste

Parte 1 – Você entendeu os conceitos básicos sobre ondulatória?

Utilizando os conceitos que você relacionou no seu mapa conceitual, explique os mecanismos físicos envolvidos na propagação dos sons a partir de uma corda de violão, respondendo as seguintes questões:

Questão 1 – Quando uma corda de um violão é tocada perto de nós, escutamos sons, ou seja, a oscilação dessa corda é transmitida de alguma forma pelo ar. Explique como acontece essa transmissão.

Os efeitos sonoros vem até nossos ouvidos, fazendo com que escutemos o som que está sendo produzido pela corda de violão. Poderemos, também, perceber se o som é mais grave ou mais agudo.



Questão 2 – Nas últimas aulas, lhe foi apresentado o funcionamento das cordas de um violão. Você pôde perceber que quanto menor for o segmento de corda vibrante mais agudo é o som. Explique por que isso acontece.

Quando as cordas oscilam, elas estão fazendo o movimento de sobe e desce, então quando as cordas ~~oscilam~~ produzem um som mais fino (agudo). O movimento de sobe e desce dela está muito mais rápido do que das cordas que produzem sons graves.

Questão 3 – Ao observar uma pessoa tocar violão, percebemos que o músico é capaz de fazer seu instrumento emitir sons agudos ("finos") e sons graves ("grossos").

Dentre as alternativas abaixo, marque aquela que melhor explicaria para você como isso é possível:

- a) Sons graves são emitidos nas cordas mais grossas e sons agudos são emitidos em cordas mais finas. Uma corda mais grossa não consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina.
- b) Sons graves são emitidos quando as cordas oscilam (vibram) lentamente em relação a sons agudos que são emitidos quando as cordas oscilam mais rapidamente. Uma corda mais grossa não consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina.
- c) Sons graves são emitidos nas cordas mais grossas e sons agudos são emitidos em cordas mais finas. Uma corda mais grossa consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina, tudo vai depender da posição dos dedos do violonista.
- d) Sons graves são emitidos quando as cordas oscilam (movimento de sobe e desce) lentamente em relação a sons agudos que são emitidos quando as cordas oscilam mais rapidamente. Uma corda mais grossa consegue emitir um som mais agudo do que uma corda mais fina, tudo vai depender da posição dos dedos do violonista.

Questão 4 - Ao observar uma pessoa tocar violão, percebemos que em diversos momentos o violonista toca várias cordas simultaneamente (ao mesmo tempo) formando o que se denomina em música como ACORDES. Entre as alternativas a seguir, indique aquela que melhor caracteriza o fenômeno observado:

- a) Ao tocar várias cordas ao mesmo tempo os sons de todas se "misturam" sempre formando apenas um único som mais intenso.
- b) Ao tocar várias cordas ao mesmo tempo os sons de todas se "misturam", mas ainda assim é possível discernir (entender) cada um dos sons emitido por cada corda sempre.
- c) Como nenhuma corda consegue emitir o mesmo som que outra corda, ao tocar várias cordas ao mesmo tempo é sempre possível discernir (entender) cada um dos sons emitido por cada corda.
- d) Como é possível que uma corda consiga emitir o mesmo som que outra corda, ao tocar várias cordas ao mesmo tempo é possível que estes sons se "misturem" e produza um som único.

Parte 2 – Sobre a prática experimental

Durante nosso projeto, você foi uma vez ao laboratório e teve a chance de entender como um cientista pode fazer novas descobertas. Você calibrou os instrumentos, mediu, ajustou, mediu novamente, anotou os dados e, por fim, os analisou. Sobre essa prática, responda as seguintes questões:

Questão 5 - O aparato experimental usado era composto de dois segmentos de cordas, um maior que o outro. Em média, o segmento de corda maior tinha um tamanho de 36 cm, enquanto que o segmento de corda menor, algo em torno de 16 cm. Ao tanger (tocar) o segmento maior, escutamos um som diferente do segmento de corda menor. Sobre essa experiência, marque a alternativa que para você diz que tipo de som escutaríamos e explica melhor o motivo disso acontecer.

- a) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo ("fino") do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está sob maior tensão (mais esticado) do que o segmento de corda menor.
- b) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo ("fino") do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está menos esticado do que o segmento de corda menor.
- c) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais grave ("grosso") do que o segmento de corda menor. Isso acontece porque o segmento de corda maior está menos esticado do que o segmento de corda menor.
- d) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais grave ("grosso") do que o segmento de corda menor. Os dois segmentos estão sob mesma tensão e o que explica um som ser mais agudo do que o outro é justamente a diferença de tamanho entre os segmentos de corda.

Questão 6 - No laboratório, se mediu frequência de oscilação do segmento de corda maior e menor em diferentes tensões. A seguir, você encontra uma tabela com alguns valores encontrados em uma medição.

Frequência de oscilação do segmento de corda maior	Frequência de oscilação do segmento de corda menor	Quantidade de água dentro do reservatório
82 Hz	160 Hz	200 ml
90 Hz	167 Hz	250 ml
93 Hz	182hz	300 ml
202 Hz	188hz	350 ml
96 Hz	198hz	400 ml

Sobre essa tabela, responda:

- a) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais ^{ruo} agudo ou mais ^{Grasso} grave do que o som emitido pelo segmento de corda menor? Por quê?
- b) Quando o reservatório tinha 350 ml, a frequência medida no segmento maior foi bem superior à esperada. Aponte algumas possíveis causas.
- c) O som emitido pelo segmento de corda maior é mais agudo do que o som emitido pelo segmento de corda menor quando há 350 ml de água no reservatório? Por quê?

A) A CORDA MAIOR PRODUZ UM SOM MAIS GRAVE DO QUE A CORDA MENOR. PORQUE A CORDA VIBRA MAIS LENTAMENTE EM RELAÇÃO AOS SOMS AGUDOS.

B) POR CAUSA DO TAMBOR DE ÁGUA QUE TINHA NO RESERVATÓRIO, DEIXAVA A CORDA MAIS ESTICADA

C) SIM. POR CAUSA DO PESO DO RESERVATÓRIO. QUANTO MAIS PESADO FICAVA O RESERVATÓRIO POR CAUSA DA ÁGUA, MAIS ESTICADA DEIXAVA A CORDA, PRODUZINDO UM SOM MAIS AGUDO.