

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. Todo esse material encontra-se disponível no website desenvolvido para esse produto. Ele pode ser acessado nos endereços: bit.ly/ondulatória ou sites.google.com/site/introducaoondulatoria.

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 claro 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 tratados¹ 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:

¹ Com um *add-on* do GooglePlanilhas chamado Flubaroo, é possível fazer a correção automática do teste e enviar o resultado individual, por email, a cada um dos alunos.

Teste prévio

Identificação do aluno:

Email: _____

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

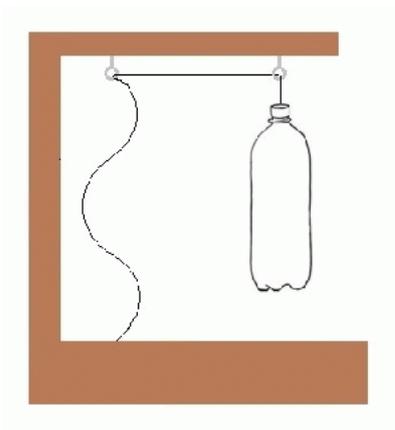


Questão 11

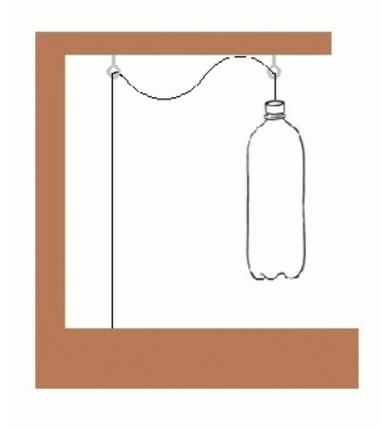
Nas animações a seguir, está ilustrado o comportamento vibratório dos segmentos de corda 1 e 2. Ao tanger (tocar) o segmento maior escutamos um som diferente do segmento de corda menor. Sobre essa experiência, marque a alternativa que para você diz que tipo de som escutaríamos e explica melhor o motivo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



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!

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 tratamento².

² 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, medir a 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 **Guitar Tuner**. 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 software. 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.

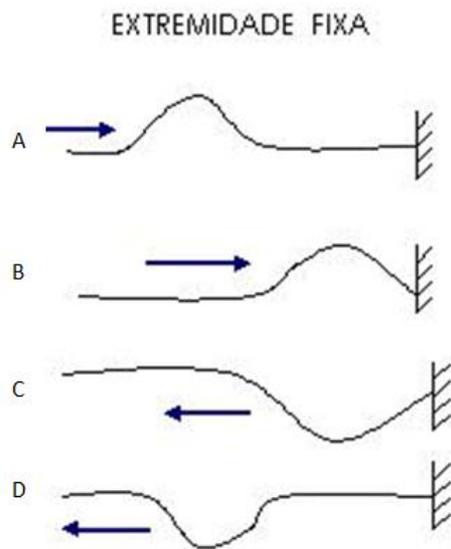


Figura 7: Representação da propagação de um pulso em uma corda de extremidades fixas.

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.

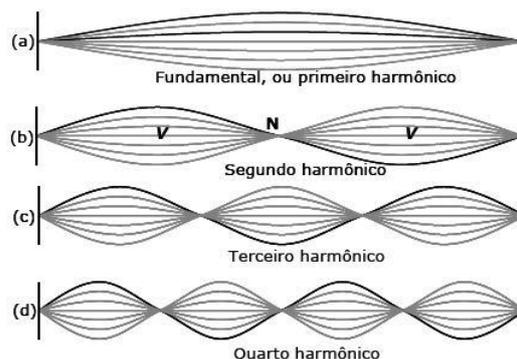


Figura 8: Representação de ondas estacionárias.

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?

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

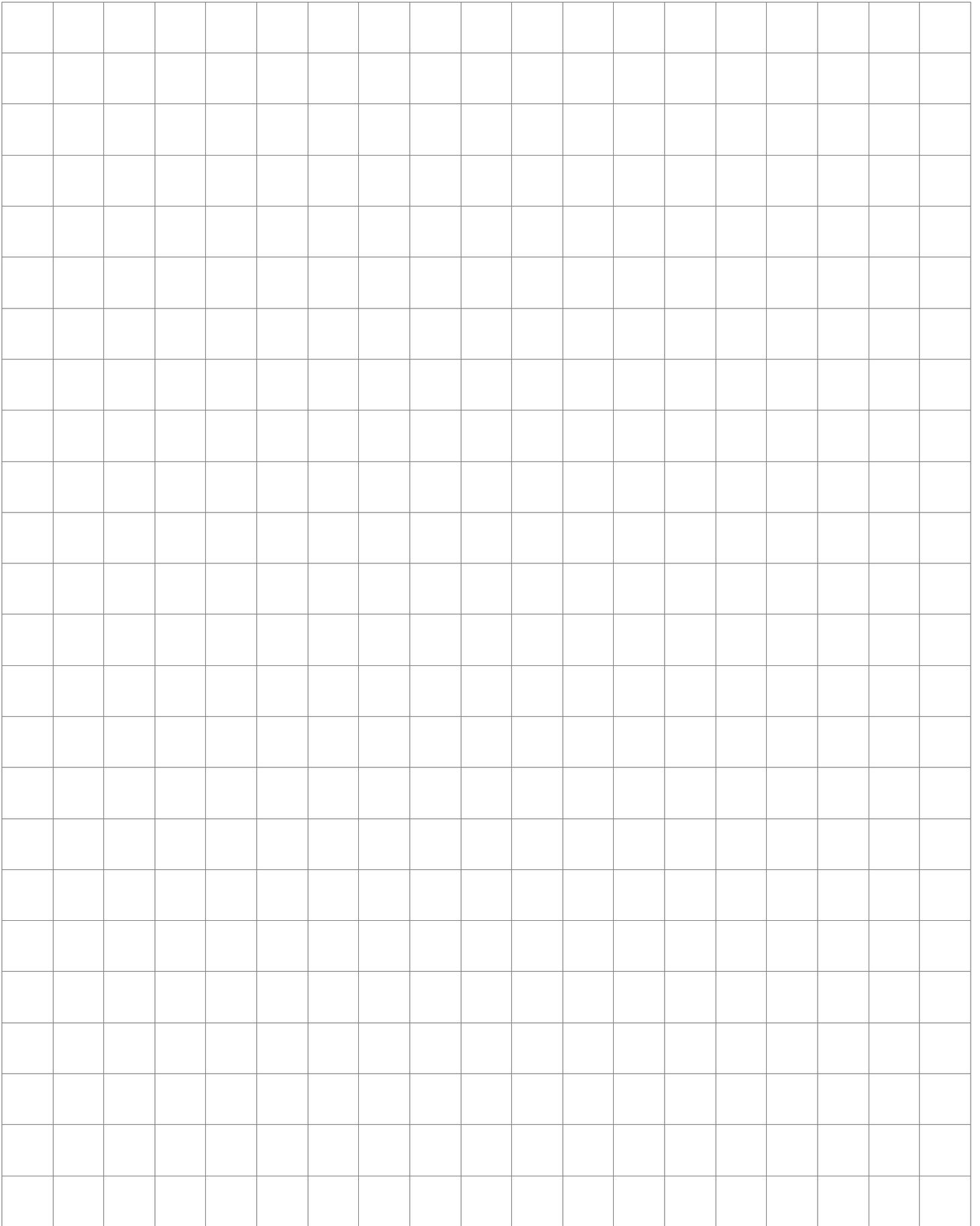
Durante a prática experimental, você fez diversas anotações e se esforçou para responder as questões propostas. Agora é hora de organizar toda essa informação!

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!



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.

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:

- a) 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?
- 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?

Pesquisa de satisfação

Por fim, aplicamos uma pesquisa de satisfação 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 monoscópio.

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?

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 tensionar 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 tencionada, 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.