

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICA E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE FÍSICA

VANESSA VALENÇA DOS SANTOS

A PRÁTICA DA RESSONÂNCIA NO COTIDIANO

Rio de Janeiro

2013



VANESSA VALENÇA DOS SANTOS

A PRÁTICA DA RESSONÂNCIA NO COTIDIANO

Monografia junto ao curso de Licenciatura em física da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Como requisito a obtenção do título de Licenciatura.

Orientadora: Prof. Lígia Moreira

Rio de Janeiro

2013

A Deus, autor e consumidor da minha fé.

*“Eu é que sei que pensamentos tenho  
a vosso respeito, diz o Senhor;  
pensamentos de paz e não de mal,  
para vos dar o fim que desejais.”*

*Jeremias 29:11*

## AGRADECIMENTOS

A Professora Lígia Moreira que, como orientadora, no meio de “mil” orientandos, encontrou tempo para me ouvir e me dar o norte nesse trabalho. A ela, mais uma vez, que como professora, durante os anos da graduação teve importância ímpar na minha formação.

A meus pais, Luiz Valença e Maria José, e irmãos, Verônica e Victor. Pelo amor, pelo suporte e por me apoiarem em tanto tempo de dedicação a essa graduação. Por acreditarem nos meus planos e sonharem os meus sonhos.

Ao Eliseu Soares, amigo e mentor.

Ao Eros Ramos, meu amigo. Minha graduação não seria a mesma coisa sem ele e ele tem plena ciência disso.

Aos amigos de verdade. Achava que os podia contar nos dedos de uma só mão, mas me surpreendi. Obrigada pelo incentivo e por todos os puxões de orelha.

Ao André Farias, Paulo Victor Junqueira, Rafael Guedes, Sidney Mendes e Thiago Oliveira, que colaboraram para esse trabalho.

A Deus. Em nenhum momento dessa jornada houve dúvida da sua existência e do seu poder.

Obrigada.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo levar os alunos ao aprendizado significativo de um assunto que até hoje não recebe a devida atenção nas escolas: ressonância. Nas aulas, serão abordadas oscilações forçadas e ondas como base importante para o ensino de ressonância.

O método a ser utilizado é o uso de experimentos e vídeos como recursos para facilitar o aprendizado. Eles serão inseridos antes da definição do conceito que representarão em sala de aula.

O trabalho é dividido em duas aulas onde a participação dos alunos é de extrema importância. Essa participação será feita basicamente através das concepções prévias dos alunos e das suas observações dos recursos já mencionados. Eles auxiliarão também nos experimentos, mas, de fato, o professor será o responsável nas suas realizações e nas definições dos conceitos.

Ao fim do trabalho, situações cotidianas relacionadas à ressonância são apresentadas e espera-se que o aluno compreenda o fenômeno, entenda a sua importância e reconheça-o com certa facilidade.

Palavras-chaves: Ressonância. Oscilações. Experimentos. Cotidiano.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	08
1 METODOLOGIA E MATERIAIS .....	11
1.1 REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
1.2 METODOLOGIA APLICADA.....	14
1.3 MATERIAIS .....	15
1.3.1 ATIVIDADE 1: CAIXA DE MÚSICA .....	15
1.3.2 ATIVIDADE 2: PÊNDULOS DE MASSAS DIFERENTES.....	16
1.3.3 ATIVIDADE 3: PÊNDULOS DE TAMANHOS DIFERENTES .....	17
1.3.4 ATIVIDADE 4: PÊNDULO COM MOVIMENTO AMORTECIDO .....	17
1.3.5 ATIVIDADE 5: PÊNDULO TRIPLO.....	18
1.4 VÍDEOS.....	20
2 AULA 1: OSCILAÇÕES E ONDAS .....	22
2.1 CONCEPÇÕES PRÉVIAS .....	22
2.2 CONCEITOS BÁSICOS DE OSCILAÇÕES .....	24
2.2.1 MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES (MHS) .....	25
2.2.2 PÊNDULO SIMPLES.....	27
2.2.3 OSCILAÇÕES AMORTECIDAS E FORÇADAS .....	30

3	AULA 2: RESSONÂNCIA.....	33
3.1	CONCEPÇÕES PRÉVIAS .....	33
3.2	HISTÓRICO .....	34
3.3	CONCEITOS BÁSICOS DE ONDAS.....	34
3.3.1	REFLEXÃO, INTERFERÊNCIA E ONDAS ESTACIONÁRIAS.....	37
3.3.2	RESSONÂNCIA .....	41
3.4	RESSONÂNCIA NO COTIDIANO .....	45
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

## INTRODUÇÃO:

Este trabalho apresenta uma proposta de ensino de Oscilações, dando ênfase a Oscilações Forçadas e a Ressonância. A ideia inicial é que esse ensino seja voltado para alunos do primeiro ano do Ensino Médio, no entanto, pode ser aplicado a outros anos de acordo com o programa da escola.

No conteúdo programático de Física da maioria das escolas, a ressonância é um dos assuntos que devem ser abordados em sala de aula, já que está inserida em conteúdos como Oscilações e Ondas e é um fenômeno muito presente no cotidiano dos alunos, o que possibilita o interesse deles no assunto, diferentemente de temas onde é difícil a visualização de sua aplicação. Os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio sinaliza a importância da ciência em função do cotidiano:

*“Nunca é demais insistir que não se trata de se incorporar elementos da ciência contemporânea simplesmente por conta de sua importância instrumental utilitária. Trata-se, isso sim, de se prover os alunos de condições para desenvolver uma visão de mundo atualizada, o que inclui uma compreensão mínima das técnicas e dos princípios científicos em que se baseiam.”  
(BRASIL, 2000)*

Como o foco na maioria de nossas escolas ainda é o tratamento matemático dos fenômenos físicos ao invés do estudo da física por trás dos fenômenos, e, ainda, ressonância é um assunto que não possui muito estudo matemático em nível do ensino médio, a devida atenção a esse assunto não é dada em sala de aula. Para isso, esse estudo foi feito, para que uma forma atrativa de ensino de oscilações forçadas e ressonância aos alunos seja encontrada.



Essa proposta consiste em utilizar experimentos simples e vídeos em sala de aula para introduzir o conceito de oscilações forçadas e ressonância, reproduzindo o fenômeno e exemplificando com situações do cotidiano. O objetivo é os alunos identificarem onde e como ocorrem os fenômenos e, para isso, os experimentos serão os mais triviais possíveis para que as ideias de oscilações forçadas e ressonância sejam vinculadas a algo simples e entendidas em sua completa extensão.

O uso de experimentos e vídeos em sala de aula e a verificação do fenômeno físico no cotidiano são facilitadores do aprendizado, servem como um recurso didático motivador que pode despertar a atenção dos alunos e o interesse, promovendo discussões sobre o assunto abordado, fazendo com que haja mais interação entre os alunos, construindo, assim, o processo de ensino-aprendizagem. Isso pode ser observado em Castro. Para ele, a teoria que se quer ensinar ao aluno deve ser ligada à prática:

*“Trata-se, isso sim, de ensinar melhor a teoria – qualquer que seja – de forma bem ancorada na prática. As pontes entre a teoria e a prática têm que ser construídas cuidadosamente e de forma explícita”. (CASTRO, 1997)*

Com base nisso, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) sugerem que a organização curricular do ensino médio seja baseada em alguns pressupostos, sendo um deles:

*“• abertura e sensibilidade para identificar as relações que existem entre os conteúdos do ensino e das situações de aprendizagem e os muitos contextos de vida social e pessoal, de modo a estabelecer uma relação ativa entre o aluno e o objeto do conhecimento e a desenvolver a capacidade de relacionar o aprendido*

*com o observado, a teoria com suas consequências e aplicações práticas;” (BRASIL, 2000)*

O professor será a pessoa que mediará essas interações entre a prática dos alunos e o conhecimento. Ele será o responsável por nortear o caminho que os alunos seguirão para verificar situações onde os fenômenos ocorrem, mas que a priori não reconheciam, e assim atingir o aprendizado.

# 1 METODOLOGIA E MATERIAIS

## 1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

Com o objetivo de promover a aprendizagem em sala de aula, buscamos ferramentas que acompanhem os avanços em pesquisa sobre ensino de física. Verificamos, ainda, referências de estudiosos na área de formação de professores e teorias de ensino e aprendizagem.

Na teoria ambientalista ou empirista, segundo Becker (1993), o indivíduo é como uma folha em branco ao nascer. Não há conhecimento nele e, sem um transmissor, a aprendizagem não ocorre. O professor é o transmissor de conhecimento e o único que o pode fazer. O professor ensina e o aluno aprende. O sujeito é totalmente determinado pelo mundo do objeto ou meio físico e social.

Na teoria racionalista, segundo Giusta (1985), todo o conhecimento é anterior à experiência. O professor deve interferir o mínimo possível. Ele atua como auxiliar do aluno, que tem um pré-conhecimento que só precisa trazer à consciência. Para esta teoria, o indivíduo é capaz de adquirir o conhecimento sozinho.

Mas, para o nosso estudo, utilizaremos uma terceira teoria. Que é a teoria do interacionalismo, construtivismo ou dialética, cujos adeptos são Vygotsky, Piaget, Freire e outros, segundo Becker (1993). Além disso, temos a aprendizagem significativa cujo defensor é David Ausubel.

Para Piaget, que discorda das teorias empirista e racionalista, o conhecimento é feito de construções sucessivas, resultado da relação sujeito-objeto e não da experiência única dos objetos e nem de uma programação

inata, pré-formada no sujeito. O autor (PIAGET, 1977) defende que, para a construção de um conhecimento, o sujeito precisa vivenciar situações onde relacionar, comparar, diferenciar e integrar os conhecimentos.

Já para Vygotsky, o homem é visto como alguém que transforma e é transformado nas relações. Freitas (2000) afirma que um professor vygotkyano intervém e media a relação entre o aluno e o conhecimento. Ele é chamado professor mediador e que cria a chamada Zona de Desenvolvimento Proximal, onde o aluno, o professor e o conteúdo interagem com o problema para o qual se procura uma resolução, interferindo no desenvolvimento do aluno e direcionando o aprendizado.

No construtivismo, o conhecimento não está pronto, ele é construído aos poucos pela interação do meio físico e social com o sujeito, que se dá respeitando as condições do sujeito e do meio. O professor entra em cena para mediar a construção do conhecimento do aluno dando importância as suas experiências e concepções prévias e inspirando no estudante uma curiosidade sobre o conteúdo a ser trabalhado, gerando, assim, interesse na aprendizagem.

O papel de mediador do professor nessas aulas propostas consistirá na apresentação dos experimentos e vídeos, na verificação das concepções prévias do aluno, no elo entre o fenômeno e essas concepções e, por fim, nas definições dos fenômenos de oscilações forçadas e ressonância.

Aliada ao Construtivismo, temos a Teoria da Aprendizagem Significativa, cujo proponente é David Ausubel. Para ele, o aprendizado ocorre quando o novo conhecimento se alia a um conhecimento anterior, ou seja, a concepção anterior. A aprendizagem pode ocorrer a partir de conteúdos que indivíduos já possuem na estrutura cognitiva, que ele define como o conjunto global de ideias

sobre determinado assunto, disciplina ou mesmo conjunto total de pensamentos de um indivíduo, e a forma com que são organizadas.

Para que a aprendizagem significativa ocorra uma condição é necessária: o aluno precisa ter uma disposição para aprender. Se o indivíduo quiser memorizar o conteúdo arbitrariamente e literalmente, então a aprendizagem será mecânica. Além disso, o conteúdo a ser aprendido deve ser logicamente significativo para o indivíduo.

A escolha de recursos como experimentos e vídeos foi feita porque são importantes ferramentas para a dinâmica da aula, já que despertam o interesse dos alunos por serem instrumentos visuais, afastando-os do estigma da aula somente em quadro. Os experimentos realizam a ponte entre a teoria e a prática onde os alunos vivenciam, comparam e integram os conhecimentos. É a forma pela qual há interação entre o meio físico e o aluno construindo assim a aprendizagem de acordo com o construtivismo. A utilização de vídeos é relevante por essa interação, mas, também, pelo fato de conseguir substituir as demonstrações em sala de aula (PEREIRA, 2005) e dar um contexto de lazer e entretenimento que já está embutido na ideia de vídeo (MORAN, 1993). O vídeo é encarado pelos alunos como uma pausa na aula modificando sua postura e possibilitando a sua atenção para o conteúdo estudado.

De acordo com os PCN, o mundo vivencial do aluno é o mais importante na educação. O ensino deve ser centrado no aprendiz, nas necessidades da vida contemporânea, em conhecimentos práticos e contextualizados.

*“Para isso, é imprescindível considerar o mundo vivencial dos alunos, sua realidade próxima ou distante, os objetos e fenômenos com que efetivamente lidam, ou os problemas e indagações que movem sua curiosidade. Esse deve ser o ponto de partida e, de certa forma,*

*também o ponto de chegada. Ou seja, feitas as investigações, abstrações e generalizações potencializadas pelo saber da Física, em sua dimensão conceitual, o conhecimento volta-se novamente para os fenômenos significativos ou objetos tecnológicos de interesse, agora com um novo olhar, como o exercício de utilização do novo saber adquirido, em sua dimensão aplicada ou tecnológica.” (BRASIL, 2010)*

As concepções prévias, então, são indispensáveis, pois situam o aluno na área do seu conhecimento prévio a ser corroborado ou desmistificado após a aula e geram a curiosidade a respeito de um fenômeno conhecido mas que não possuem o conhecimento físico por trás dele e geram a ansiedade, em parte, de saber se o que ele sabe é “correto” ou não.

## **1.2 METODOLOGIA APLICADA**

O assunto será abordado e dividido em duas aulas: na primeira, falaremos sobre oscilações; na segunda falaremos sobre ondas e ressonância. A aula consistirá numa troca de informações entre o professor e o aluno.

O primeiro passo é obter informações sobre as concepções prévias do aluno a respeito de situações do cotidiano relacionadas ao fenômeno físico a ser estudado em cada aula. É trazer a tona percepções que o aluno já possui, mas que não tem conhecimento específico ainda.

Os experimentos serão feitos antes das definições dos conceitos com o objetivo de introduzir o assunto e verificar as concepções para que a aprendizagem significativa, defendida por Ausubel, ocorra eficazmente. Serão feitos, também, para demonstrar as definições feitas durante a explanação do conteúdo. Caberá ao professor, no decorrer da aula, direcionar o aprendizado para que, ao seu final, o conhecimento específico seja obtido pelos alunos.

Esse direcionamento será auxiliado, ainda, pelos vídeos, que também são elos entre a teoria e a prática defendida por Castro para que o conhecimento do aluno seja bem construído e fundamentado. (CASTRO, 1997)

Os recursos utilizados na primeira aula serão três experimentos envolvendo pêndulos e um outro, uma caixa de música. Será apresentado, ainda, um vídeo envolvendo um violinista. Na segunda aula, será utilizado um experimento que também implica o uso de pêndulos e um vídeo com uma taça de cristal. O detalhamento dos recursos será feito no decorrer do trabalho.

### 1.3 MATERIAIS

#### 1.3.1 ATIVIDADE 1: CAIXA DE MÚSICA

##### MATERIAL

- Mecanismo de uma caixinha de música qualquer
- tampo de madeira
- tampo de vidro

##### MONTAGEM



Figura 1: Caixa de música

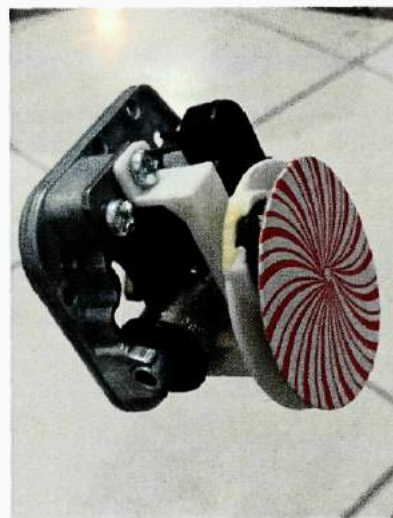


Figura 2: Mecanismo

A caixinha de música é aberta e o mecanismo interno, retirado. Ele, então, é colocado em cima do tampo de madeira e depois sobre o tampo de vidro.

### 1.3.2 ATIVIDADE 2: PÊNDULOS DE MASSAS DIFERENTES

#### MATERIAL

- Fios ou barbantes
- Dois pesos com massas diferentes
- Cronômetro

#### MONTAGEM

Dois fios devem ser cortados com 25 cm de comprimento. Cada massa será amarrada a um dos fios. Os pêndulos devem ser colocados para oscilar e o cronômetro será usado para marcar o período de oscilação dos pêndulos.

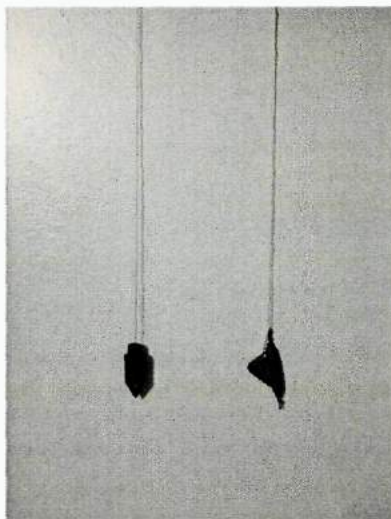


Figura 3: Pêndulos de massas diferentes e mesmo comprimento de fio



### 1.3.3 ATIVIDADE 3: PÊNULOS DE COMPRIMENTO DIFERENTES

#### MATERIAL

- Fios ou barbantes
- Dois pesos idênticos
- Cronômetro

#### MONTAGEM

Dois fios são cortados: um fio com 25 cm e outro com 50 cm. Na extremidade de cada fio um peso é amarrado. Os pêndulos são postos para oscilar e os tempos de oscilação são cronometrados.

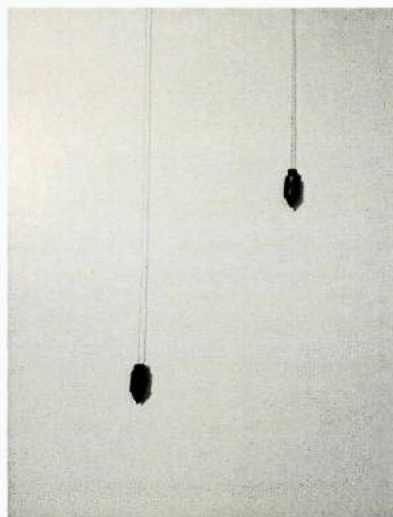


Figura 4: Pêndulos de mesmo peso e comprimento de fios diferentes

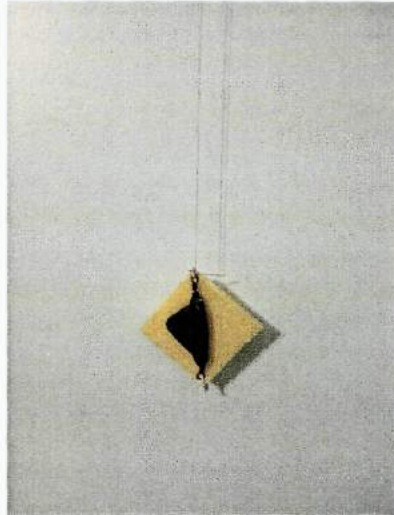
### 1.3.4 ATIVIDADE 4: PÊNULO COM MOVIMENTO AMORTECIDO

#### MATERIAL

- Fio ou barbante
- Peso (chumbo de pescaria)
- Quadrado de isopor de 7 cm x 7 cm.
- Cronômetro

## **MONTAGEM**

Um fio de 25 cm é cortado, o peso preso à extremidade do fio. De um pedaço de isopor tiramos um quadrado e prendemos ao peso verticalmente. O quadrado utilizado aqui foi retirado de uma bandeja de frios vendida em supermercados. O pêndulo oscila e o período de oscilação é cronometrado.



**Figura 5: Pêndulo amortecido**

### **1.3.5 ATIVIDADE 5: PÊNDULO TRIPLO**

#### **MATERIAL**

- Base de madeira
- Espuma
- Haste de metal
- Três pesos iguais
- Fio ou barbante

## MONTAGEM

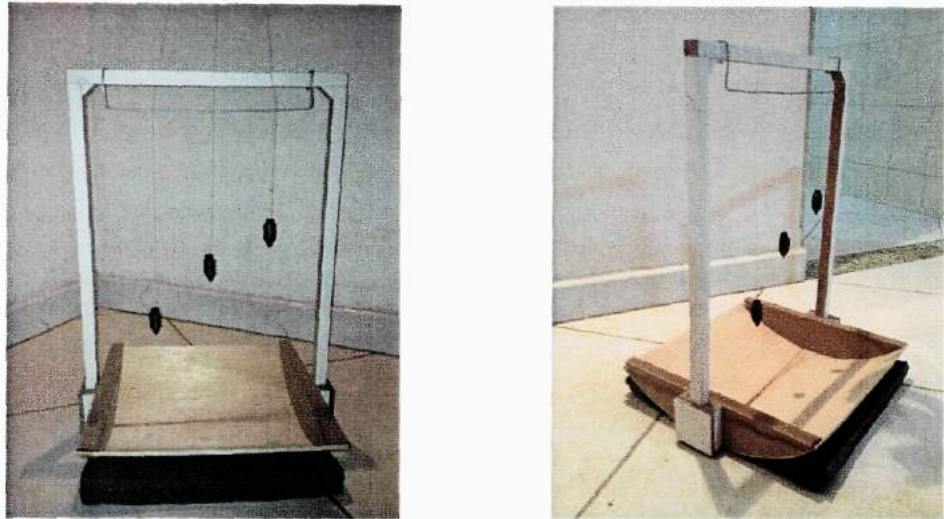


Figura 6: Pêndulo triplo

O primeiro passo é utilizar uma base de madeira onde a haste com os pêndulos será firmada. Ela pode ter qualquer forma, mas deve ter a capacidade de propagar uma vibração para os fios. Nesse caso, foi escolhida uma base arredondada.

Dois pedaços de espuma foram utilizados como “calços” da base. Os pedaços são encaixados na parte inferior da base.

Uma haste de metal é presa no suporte da base.

Fios de 10 cm, 17,5 cm e 25 cm são cortados e os pesos são amarrados à eles e esses, presos à haste de metal, finalizando assim a montagem.

## 1.4 VÍDEOS

Dois vídeos serão utilizados nessas aulas. Para a aula de oscilações forçadas utilizaremos um vídeo caseiro onde um músico toca o violão de duas maneiras diferentes. Uma das formas é da maneira tradicional e que estamos acostumados a ver, a outra forma é com um papel tampando o orifício central do violão.



Figura 7: Violão



Figura 8: Violão com a caixa obstruída

Para a aula de ressonância, demonstrando o efeito de colapso das estruturas, utilizaremos um vídeo da taça de cristal que quebra ao vibrar com o som de um amplificador. O experimento contido no vídeo foi realizado na University of Southern California nos Estados Unidos da América. (BREAKING A WINE GLASS USING RESSONANCE, 2006)



Figura 9: Taça

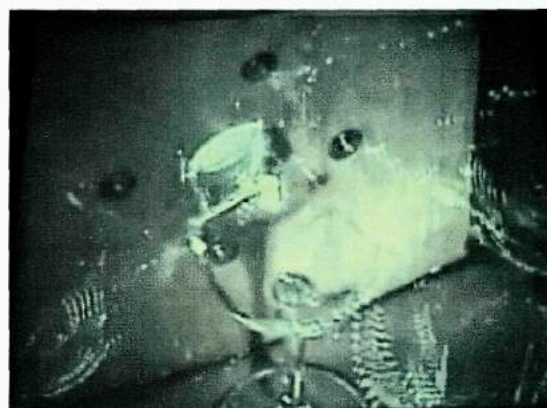


Figura 10: Taça quebrando



**Figura 11: Taça quebrada**

## 2 AULA 1: OSCILAÇÕES E ONDAS

### 2.1 CONCEPÇÕES PRÉVIAS

Todo sujeito possui pré-conhecimentos e, no nosso estudo, estamos interessados nas concepções prévias que os alunos possam ter a respeito de ondas e oscilações com a finalidade de fazer a introdução da aula.

Essa introdução busca familiarizar o assunto a ser estudado com os fenômenos que ocorrem no cotidiano. Perguntas serão feitas na forma de uma conversa com a finalidade de situar o professor no nível de conhecimento da turma. São elas:

Pergunta 1: Se você tiver os olhos vendados e eu deixar cair um garfo e um pote de plástico, você saberia dizer, através do som, de que material os objetos são feitos?

Espera-se que todos os alunos consigam identificar a diferença de som. Com essa pergunta, o objetivo é levar o aluno a perceber que o som depende da forma e da composição do objeto, já introduzindo o conceito de frequência natural.

Pergunta 2: Se você está num balanço e dá somente um "impulso", o que acontece depois de um tempo? Por quê?

Aqui a resposta esperada é que o balanço parará de oscilar com o passar do tempo. A ideia de oscilação amortecida é a que se quer apresentar. O porquê talvez não seja completamente satisfeito. Os alunos podem não associar de imediato a diminuição da velocidade com a perda de energia pela resistência do ar.

Pergunta 3: E para que o balanço não pare e suba cada vez mais alto o que se deve fazer?

Dessa vez, algo como “empurrar quando o balanço voltar” é a resposta aguardada dos alunos. A meta, nessa situação, é que o aluno entenda que para o movimento continuar é necessária a ação de um agente externo, que exista uma força atuando na oscilação constantemente. Essa pergunta pode ser lembrada na aula de ressonância.

**Atividade 1:** Depois dessa conversa no início da aula, utilizaremos o experimento da caixinha de música.

A pergunta inicial a ser feita é sobre o que ocorrerá com o som da caixinha de música se o mecanismo for retirado da caixa e “colocado para tocar” sem o contato com nenhuma superfície, se o mecanismo for colocado sobre um tampo de madeira e se o mecanismo for colocado sobre um tampo de vidro. O aspecto importante aqui, a ser identificado nas respostas dos alunos, é se haverá a percepção por parte deles que ocorre uma diferença na intensidade do som.

O experimento foi feito com um grupo de alunos do primeiro ano do colégio pH como uma amostra do que seria em aula. Os alunos afirmaram que haveria uma diferença na intensidade do som e a relacionaram com a dispersão do som no ar. Afirmaram que o som seria mais baixo no caso do ar, mas que não haveria diferença na intensidade do som quando colocado sobre o tampo de madeira ou sobre o tampo de vidro. O senso comum dos alunos foi equivocado. A questão da dispersão do som no ar ser o principal causador da diferença da intensidade, no entanto, foi unânime.

Depois das respostas, o experimento é feito e o assunto das ondas e oscilações será introduzido e explanado.

**Explicando:** Quando o mecanismo é colocado para funcionar no ar, a intensidade do som que ouvimos é pequena. Já quando o mecanismo é posto para tocar em contato com os tampos, as moléculas desses tampos são forçadas a vibrar com a frequência emitida pelo som do mecanismo, propagando melhor o som. A intensidade do som ouvido é maior do que no caso anterior.

## 2.2 CONCEITOS BÁSICOS DE OSCILAÇÕES

O dicionário define: “Oscilar: (*lat oscillare*) *vint* 1. Mover-se alternadamente de um para outro lado: *O pêndulo recomeçou a oscilar.*” (MICHAELIS ONLINE)

Oscilação é definida em física como um movimento periódico que um corpo material executa sempre com a mesma trajetória, repetindo em intervalos de tempos iguais as mesmas características cinemáticas, isto é, a mesma posição, a mesma velocidade e a mesma aceleração. Essa é a mais simples e suficiente definição do movimento de oscilação: um movimento periódico de uma posição à outra. Mas, além de oscilação, podemos definir vibração e ondas.

*“De um modo geral, qualquer coisa que oscile para frente ou para trás, para lá e para cá, de um lado para o outro, para dentro e para fora, ligando e desligando, estridente e suave ou para cima e para baixo, está vibrando. Uma vibração é uma oscilação em função do tempo. Uma onda é uma oscilação que é em função tanto do espaço como do tempo.” (HEWITT, 2002)*

Utilizaremos para esse estudo oscilações, vibrações e ondas, já que utilizaremos experimentos com pêndulos e som.



As oscilações estão por toda parte, desde as macroscópicas, como das grandes estruturas dos prédios e pontes, até as microscópicas, como dos elétrons, dos átomos e das estruturas cristalinas dos sólidos. A melhor maneira de começar o estudo de oscilações é falando sobre o Movimento Harmônico Simples e o pêndulo simples.

### 2.2.1 MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES (MHS)

*“Diz-se que um ponto material efetua um **movimento harmônico simples** linear, que indicaremos simplesmente como **MHS**, quando, numa trajetória retilínea, oscila periodicamente em torno de uma posição de equilíbrio sob a ação de uma força cuja intensidade é proporcional à distância do ponto à posição de equilíbrio. Essa força é sempre orientada para a posição de equilíbrio e chama-se **força restauradora**.” (RAMALHO, 2007)*

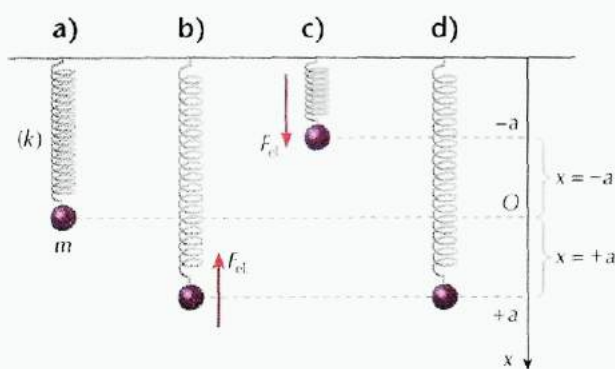


Figura 12: A esfera suspensa à mola efetua um MHS (desprezada a ação do ar): (a) a esfera está na posição de equilíbrio; (b) puxamos a esfera e a abandonamos; (c e d) a esfera oscila, efetuando MHS de amplitude  $a$  em torno da posição de equilíbrio  $O$ . (RAMALHO, 2007)

### Amplitude, período e frequência:

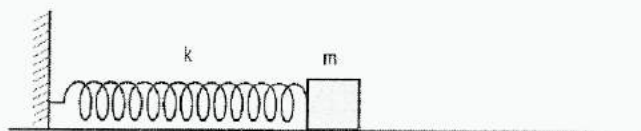


Figura 13: bloco preso a uma mola (GASPAR, 2000)

Desprezando as forças dissipativas em geral e tomando o movimento de um bloco de massa  $m$  preso a uma mola, tem-se que a força que fará o papel da força restauradora é a força elástica ( $F_{el} = -kx$ ), onde  $k$  é a constante elástica da mola e  $x$  é a deformação causada na mola.

*“A distância entre a posição de equilíbrio e a posição extrema ocupada por um corpo que oscila é denominada amplitude,  $A$ , do movimento” (ALVARENGA, 2000)*

Essa amplitude será a mesma com o passar do tempo, uma vez que não há dissipação de energia. O período é definido com:

*“O período ( $T$ ) é o intervalo de tempo de uma oscilação completa.” (GASPAR, 2000) e “a taxa de repetição de uma determinada vibração é a sua frequência” (HEWITT, 2002)*

Essas três grandezas são características do MHS. O período do MHS pode ser definido por:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

E a frequência, que é o inverso do período, será definida por:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Como a amplitude  $A$  não aparece na expressão do período, pode-se observar que o período de oscilação não dependerá da amplitude do movimento.

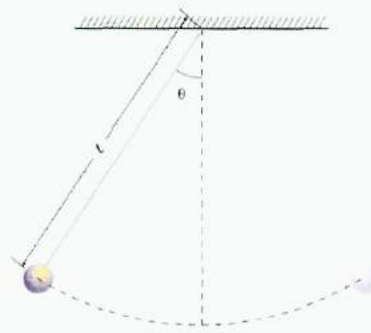
*“A amplitude do MHS depende da energia mecânica total cedida ao sistema” (RAMALHO, 2007)*

### 2.2.2 PÊNDULO SIMPLES

“Conta-se que Galileu, quando cursava o primeiro ano de medicina na Universidade de Pisa, teria observado que as oscilações do lustre na catedral daquela cidade tinham sempre o mesmo período para qualquer amplitude.” (GASPAR, 2000).

Naquela época somente existiam relógios com base em fluxo de matéria ou movimento terrestre. Galileu, então, fez a contagem do tempo de oscilação comparando-o com a contagem da sua pulsação sanguínea. Ele verificou com as medições que o tempo das oscilações não se alterava a medida que elas ficavam menores com o passar do tempo e descobriu ainda que o tempo das oscilações dependiam do comprimento do fio.

“Mais tarde, Galileu refez essas observações experimentalmente e sugeriu a utilização do pêndulo como dispositivo controlador do tempo na construção de relógios mecânicos.” (GASPAR, 2000).



**Figura 14: Pêndulo Simples (GASPAR, 2000)**

Ao suspender um objeto qualquer através de um fio ou barbante, um pêndulo é formado. Deslocando o mesmo objeto de sua posição de equilíbrio, ele passa a oscilar.

*“Pêndulo simples é um sistema constituído por uma partícula de massa  $m$ , suspensa por um fio ideal. Ao oscilar em torno de sua posição de equilíbrio  $O$ , desprezadas as resistências, o pêndulo simples realiza um movimento Periódico.” (RAMALHO, 2007)*

*“Se o corpo for deslocado de maneira que o fio forme ângulos pequenos com a vertical ( $\theta < 5^\circ$ ), a trajetória do pêndulo será aproximadamente retilínea e o movimento poderá ser considerado harmônico simples.” (GASPAR, 2000)*

Considerando o MHS e a aproximação relativa ao ângulo, pode-se afirmar que, para ângulos pequenos, o período do pêndulo será:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

E para a frequência:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Onde  $l$  é o comprimento do fio e  $g$ , a aceleração da gravidade na Terra.

Dessa forma, observa-se que o período e a frequência de oscilação do pêndulo não dependem da sua massa, mas tão somente do comprimento do fio que sustenta a massa.

**Atividade 2:** Para verificar essa dependência no período e na frequência de oscilação, pode-se utilizar o pêndulo em sala de aula. Dois pêndulos com mesmo tamanho, mas com massas diferentes são postos para oscilar e os alunos terão que cronometrar os períodos de cada um e verificar que os tempos são praticamente iguais. Pode-se usar um fio de 25 cm que corresponderá a um período de aproximadamente 1,0s.

O período de oscilação será o mesmo, pois o período de um pêndulo não depende de sua massa, mas tão somente do comprimento do fio que o segura para pequenas oscilações. Pelo senso comum, pêndulos com massas diferentes devem oscilar com períodos e, conseqüentemente, com frequências diferentes. O senso comum mostra-se divergente do saber científico.

**Atividade 3:** Em seguida, dois pêndulos com mesma massa, mas com tamanhos diferentes, são postos para oscilar. Os tamanhos propostos são de 25 cm e 50 cm e com isso, os períodos serão próximos de 1,0s e 1,4s respectivamente. Aqui, os alunos devem cronometrar e verificar essa diferença dos períodos. Nesse momento os alunos já terão ideia que os

períodos tem que ser diferentes por causa da dependência do período com o comprimento do fio.

### **Frequência natural**

“Quando alguém deixa uma chave inglesa cair no chão, nós provavelmente não confundiremos o som emitido com o de um taco de beisebol ao bater no chão. Isso porque esses objetos vibram de maneira diferente.” (Hewitt, 2002) Todos os objetos, formados por um material elástico, que forem perturbados, vibrarão com um determinado conjunto de frequência. Essa frequência é chamada de *frequência natural* e depende das características próprias do objeto como sua massa, sua inércia e sua rigidez. A frequência natural é a frequência de uma oscilação livre.

### **2.2.3 OSCILAÇÕES AMORTECIDAS E FORÇADAS**

Antes de definir oscilações amortecidas e forçadas, precisamos definir oscilações livres. Oscilações livres são oscilações ocasionadas pela ação de forças restauradoras num sistema conservativo, ou seja, na ausência de forças dissipativas. O pêndulo que estudamos na seção anterior é um exemplo de oscilação livre.

#### **Oscilações amortecidas**

Até agora, falamos somente das oscilações harmônicas simples ou livres num sistema conservativo, onde não há dissipação de energia e a amplitude da oscilação é sempre a mesma. Porém, na prática, sempre existe dissipação da energia.

No caso do pêndulo da sessão anterior, as oscilações se amortecem devido à resistência do ar. A cada oscilação o sistema perde energia por causa dessa resistência diminuindo gradativamente a amplitude de oscilação até que o pêndulo atinja o repouso.

Chamamos de oscilações amortecidas, então, as oscilações que têm suas amplitudes diminuídas no decorrer do tempo por causa de forças dissipativas. O movimento do pêndulo amortecido pela resistência do ar é um exemplo de oscilação amortecida.

**Atividade 4:** Exemplificando o oscilador amortecido, utilizaremos um pêndulo com um anteparo. O pêndulo terá o tamanho de 25 cm e colocaremos para oscilar. A atividade é cronometrar o período das oscilações e verificar o que acontece tanto com o período quanto com as suas amplitudes.

A força de resistência do ar aplicada no pêndulo fará com que ele tenha a amplitude de oscilação diminuída. Os alunos poderão verificar, através das medições do cronômetro, que mesmo com essa diminuição, o seu período será igual em todas as oscilações.

### **Oscilações forçadas**

Chamamos de oscilações forçadas, as oscilações causadas por uma força externa num oscilador com período diferente, em geral, do período próprio do oscilador. Essa força externa supre continuamente energia ao oscilador, compensando a dissipação.

As oscilações forçadas aparecem em diversas situações do dia a dia das pessoas. Segundo Moysés Nussenzveig,

*“Alguns exemplos de oscilações forçadas são: as oscilações do diafragma de um microfone, ou do tímpano de nosso ouvido sob ação das ondas sonoras; as oscilações de uma pessoa sentada num balanço sob a ação de empurrões periódicos; as oscilações elétricas, produzidas num circuito detector de rádio ou televisão sob efeito do sinal eletromagnético captado; as oscilações dos elétrons em átomos ou moléculas de um meio material sob a ação de uma onda eletromagnética, como a luz, que se propaga nesse meio.”  
(NUSSENZVEIG, 2002)*

O mecanismo da caixa de música, que falamos anteriormente, é colocado sobre uma tampa de ressonância. Sem essa tampa o som produzido pelo mecanismo seria difícil de ouvir. Este força a tampa ter uma oscilação igual à frequência do som emitido, aumentando o volume do som escutado.

A questão da criança no balanço é retomada e mostramos aos alunos que o “impulso” que deve ser dado para que o balanço ganhe altura é a força externa necessária para que oscile forçadamente. Qualquer força aplicada no balanço acarretará uma oscilação forçada. A ressonância, que será apresentada a eles na segunda aula, ocorrerá quando a aplicação dessa força tiver frequência igual à frequência natural do balanço.

A partir daqui, outros exemplos de oscilações forçadas são dados como prédios vibrando com terremotos, pontes que vibram por causa de ventos, janelas que vibram com a passagem de aviões e estruturas dos estádios que vibram com as torcidas.

O vídeo com um músico tocando o violão mencionado anteriormente é apresentado. Os alunos terão que perceber com o vídeo que a intensidade do som é menor quando o orifício da caixa de ressonância do violão é obstruído. Esse vídeo será o elo entre oscilações forçadas e ressonância e será deixado como reflexão para introduzir o assunto na próxima aula.



### 3 AULA 2: RESSONÂNCIA

#### 3.1 CONCEPÇÕES PRÉVIAS

Para iniciar, então, o aprendizado de ressonância, utilizaremos o experimento do pêndulo triplo e voltaremos a questão do vídeo passado na última aula.

A pergunta inicial a ser feita é o que acontecerá com os pêndulos quando balançarmos o suporte no qual estão pendurados. A pergunta é feita antes de o experimento ser realizado para perceber o que os alunos sabem a respeito do movimento pendular que ocorrerá. Depois de os alunos se pronunciarem, o experimento é feito e os alunos verificam a validade de suas hipóteses.

**Atividade 5:** Quando o suporte dos pêndulos for balançado com qualquer frequência, eles oscilarão. Quando o suporte for balançado com a frequência natural de um dos pêndulos, somente ele terá a amplitude de oscilação aumentada, caracterizando o fenômeno de ressonância, enquanto os outros não oscilarão com tanta vivacidade. As frequências de cada pêndulo serão aplicadas ao suporte para que a ressonância em cada pêndulo ocorra, separadamente. Os pêndulos terão tamanhos de 10cm, 17,5cm e 25cm e períodos de 0,6s, 0,8s e 1s respectivamente.

Agora, podemos perguntar aos alunos qual a explicação que eles possuem para o vídeo do violão. Com o experimento do pêndulo já realizado, espera-se que as respostas contenham algo a respeito de ressonância.

O assunto já introduzido pode ser explanado.

### 3.2 HISTÓRICO

A Ressonância foi descoberta em 1602 por Galileu quando estudava pêndulos. Ele chegou ainda a trabalhar no final de sua vida num mecanismo de escapo que mais tarde originaria o relógio de pêndulo. (INTERNET <http://www.sofisica.com.br/conteudos/HistoriaDaFisica/linhadotempo.php>)

Outros fatos auxiliaram o interesse no estudo de ressonância. O principal foi que durante o século XIX, em todo o mundo, pelo menos dez pontes pênséis caíram. Após o episódio mais famoso, o da ponte Tacoma Narrows, diversos estudos sobre o fenômeno da ressonância foram realizados para entender e impedir outras catástrofes como essa.

Os físicos que mais contribuíram para o desenvolvimento da Ressonância foram: Galileu Galilei, Félix Block, Edward Purcell e Jasper Johns.

### 3.3 CONCEITOS BÁSICOS DE ONDAS



Figura 15: Onda (HEWITT, 2002)

*“Num sentido bastante amplo, uma onda é qualquer sinal que se transmite de um ponto a outro de um meio, com velocidade definida.” (NUSSENZVEIG, 2002)*

Numa corda, como na figura acima, qualquer vibração ou perturbação será propagada por ela, o movimento dessa perturbação poderá ser chamada de onda.

Na onda propagada no caso acima, verifica-se que a matéria da corda não é transportada. Há, somente, o movimento dos pontos da corda para cima e para baixo; com isso, pode-se afirmar que a perturbação é que se movimenta numa onda. "Através do movimento ondulatório, a energia pode ser transferida de uma fonte para um receptor sem que ocorra transferência de matéria entre dois lugares" (HEWITT, 2002).

Resumindo, uma onda é uma perturbação que se propaga num meio, transferindo energia de um ponto a outro sem o transporte de matéria.

### **Natureza e tipos de onda**

Uma onda pode ser classificada quanto a sua natureza e quanto a sua propagação.

Quanto a sua natureza, pode-se separá-las em mecânicas e eletromagnéticas. "**Ondas mecânicas** são aquelas originadas pela deformação de uma região de um meio elástico e que, para se propagarem, necessitam de um meio material... **Ondas eletromagnéticas** são aquelas originadas por cargas elétricas oscilantes... elas não necessitam obrigatoriamente de um meio material para se propagarem" (RAMALHO, 2007)

As ondas numa corda, as ondas propagando-se na água e as ondas sonoras são exemplos de ondas mecânicas. As ondas de rádio e a luz são exemplos de ondas eletromagnéticas.

Quanto a sua forma de propagação, pode-se separá-las em transversal e longitudinal. “Uma vez que o movimento do meio é transversal à direção da propagação da onda, esse tipo de onda é chamado de **onda transversal**... O movimento se dá ao longo da direção de propagação, e não em ângulo reto com ela. Isso produz uma **onda longitudinal**.” (HEWITT, 2002)

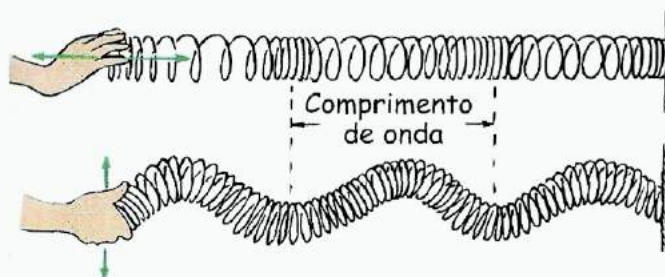


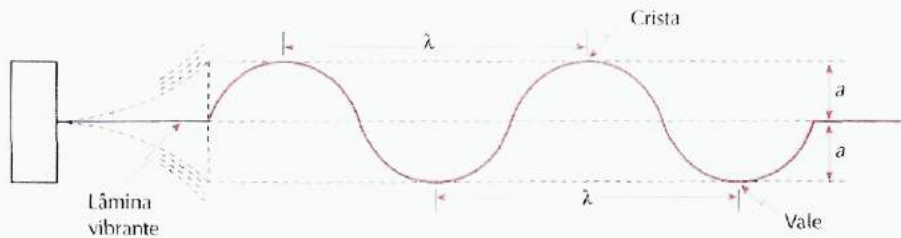
Figura 16: “Ambas as ondas transferem energia da esquerda para a direita. Quando se sacode repetidamente a extremidade da mola de um lado para outro, uma onda transversal é produzida. Quando a extremidade é empurrada e puxada repetidamente ao longo de seu comprimento, uma onda longitudinal é produzida.” (HEWITT, 2002)

### Ondas Periódicas

Ondas periódicas são formadas por pulsos iguais e sucessivos produzidos no mesmo intervalo de tempo por uma fonte oscilante.

Para o estudo de ondas periódicas, toma-se uma corda presa a uma fonte oscilante. “Se essas oscilações forem harmônicas simples, vão se propagar pela corda ondas harmônicas simples.” (GASPAR, 2000) Pode-se, então, considerar que cada ponto da corda executará um MHS de amplitude  $a$ , período  $T$  e frequência  $f$ , características já ditas anteriormente e uma onda se

propagará ao longo da corda. A onda então terá período e frequência igual ao do MHS.



**Figura 17: Produção de uma onda periódica (Ramalho, 2007)**

Nessa onda, os pontos mais altos chamam-se cristas e os pontos mais baixos, vales. A distância entre duas cristas ou a distância entre dois vales é constante e denomina-se comprimento de onda ( $\lambda$ ). Fixando um ponto qualquer da corda, percebe-se que duas cristas da onda passam por ele no período  $T$ . A distância de um comprimento de onda é percorrida pela onda num período  $T$ . Com isso, define-se a velocidade de propagação da onda:

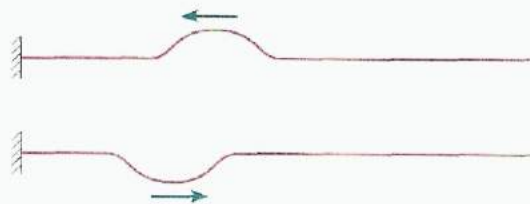
$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \rightarrow v = \lambda f$$

### 3.3.1 REFLEXÃO, INTERFERÊNCIA E ONDAS ESTACIONÁRIAS

#### Reflexão

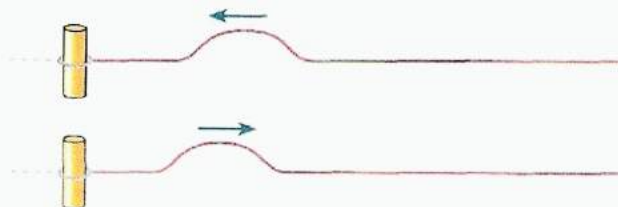
Ao se propagar por uma corda, um pulso ao chegar à extremidade da mesma, retornará de volta para a fonte. Esse fenômeno é chamado de reflexão. Essa reflexão pode ocorrer tanto com a extremidade da corda fixa ou livre.

Considerando a extremidade da corda fixa: “Quando o pulso chega à extremidade fixa, a corda exerce uma força para cima no suporte. Pelo princípio da ação-e-reação, o suporte exerce na corda uma força de reação no sentido contrário. O efeito dessa força é originar a inversão do pulso incidente.” (RAMALHO, 2007)



**Figura 18:** Num extremo fixo ocorre reflexão com inversão de fase. (RAMALHO, 2007)

Considerando a extremidade da corda livre: “Quando o pulso atinge a extremidade, a corda se movimenta para cima até que toda a sua energia cinética seja transformada em energia potencial elástica. Ao se movimentar para baixo, a extremidade da corda envia um pulso em sentido oposto, exatamente igual ao pulso incidente.” (RAMALHO, 2007)

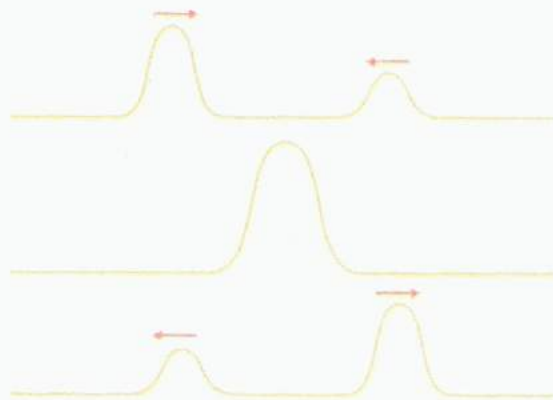


**Figura 19:** Quando a reflexão ocorre num extremo livre, não há inversão de fase. (RAMALHO, 2007)

## Princípio da Superposição e Interferência

Supondo a propagação de dois pulsos, um em cada extremidade de uma corda. Esses pulsos se propagarão em sentidos contrários e se encontrarão num determinado ponto. Quando esses pulsos se encontrarem pode-se afirmar que uma superposição dos mesmos ocorrerá. Assim, “*durante o cruzamento, a ordenada de cada ponto é a soma algébrica das ordenadas de cada onda nesse instante*” (GASPAR, 2000). Esse é o **Princípio da Superposição**.

Após o cruzamento dos pulsos, eles continuam tendo as mesmas características que tinham anteriormente como se nada houvesse ocorrido. É a chamada **independência das ondas**.



**Figura 20:** A sequência mostra dois pulsos que se cruzam. Durante a interseção as ordenadas de cada ponto somam-se algebricamente. Em seguida, cada pulso continua como antes. (GASPAR, 2000)

“Quando a crista de uma onda se superpõe à crista de outra, *seus efeitos individuais se somam e produzem uma onda resultante com amplitude maior. Isso é chamado de **interferência construtiva***. Quando a crista de uma

onda se superpõe com o ventre de outra, seus efeitos individuais são reduzidos... Isso é chamado de **interferência destrutiva**." (HEWITT, 2002)



**Figura 21: Interferências construtiva e destrutiva entre ondas transversais. (HEWITT, 2002)**

A interferência é uma consequência do Princípio da Superposição, e este, por sua vez, consequência do Princípio da Conservação de Energia.

O Princípio da Superposição e a interferência são características tipicamente ondulatórias e valem tanto para ondas mecânicas quanto para as eletromagnéticas.

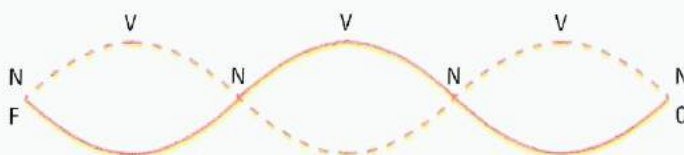
### **Ondas Estacionárias**

Toma-se uma corda presa por uma de suas extremidades em uma parede. A extremidade livre então é sacudida repetidamente para cima e para baixo formando um trem de ondas na corda.

Quando a corda é sacudida de uma maneira apropriada, as ondas incidentes e as ondas refletidas na parede se superpõem para formar uma figura de interferência que se denomina **onda estacionária**.



Ondas estacionárias são resultado do fenômeno de interferência entre ondas com mesma frequência, mesma amplitude e mesmo comprimento de onda. No caso anterior, a onda estacionária foi formada pela onda e sua reflexão que possuem as mesmas características.



**Figura 22: Onda estacionária. A letra V indica os ventres e a letra N indica os nodos. (GASPAR, 2000)**

Essas ondas possuem regiões com movimento nulo, os chamados nodos e regiões de movimento máximo que são os antinodos ou ventres. A distância entre dois nodos vale metade de um comprimento da onda originária, assim como a distância entre dois ventres.

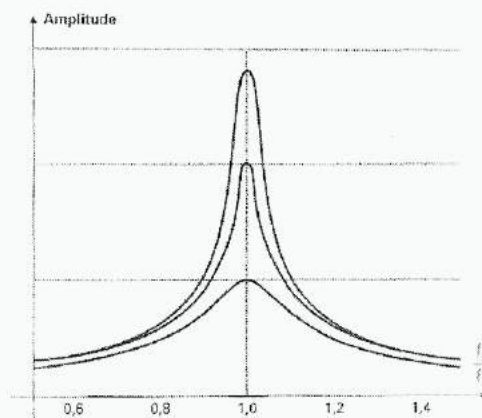
### 3.3.2 RESSONÂNCIA

*“Literalmente, ressonância significa “ressoar” ou “soar novamente”... a fim de que alguma coisa possa ressoar, é necessária uma força que o traga de volta a sua posição original e bastante energia para mantê-lo vibrando” (HEWITT, 2002).*

Como vimos na seção 2.2.3, quando um objeto é submetido a uma força externa periódica, uma transferência de energia ocorre para o objeto e ele passa a ter uma vibração ou oscilação forçada. À medida que a frequência

dessa oscilação forçada se aproxima da frequência natural do corpo, a amplitude da vibração aumenta.

A ressonância possibilita a máxima transferência de energia da fonte excitadora para o sistema oscilante.



**Figura 23:** Quando a frequência das oscilações forçadas coincide com a frequência natural, o sistema entra em ressonância com a fonte. A amplitude, então, pode atingir valores altíssimos, o que depende da resistência do sistema. Quanto menor, maior o pico de ressonância da curva. (GASPAR, 2000)

Segundo Greco, 2008, p. 9:

*“Ressonância mecânica ou simplesmente ressonância é o fenômeno físico em que se registra a transferência de energia de um sistema oscilante para outro quando a frequência do primeiro coincide com uma das frequências próprias do segundo. Nessas frequências, até mesmo forças periódicas pequenas podem produzir vibrações de grande amplitude, pois o sistema armazena energia vibracional. Quando o amortecimento é pequeno, a frequência de ressonância é aproximadamente igual a frequência natural do sistema, o que é a frequência de vibrações livres.”*

Um exemplo simples de ressonância e que é de simples visualização pelos alunos, uma vez que está ou esteve presente no seu cotidiano, é quando impulsionamos uma pessoa sentada num balanço. Qualquer pessoa percebe que o balanço só vai manter a altura ou até mesmo aumentá-la se empurrarmos o balanço com uma determinada frequência. Se o empurrão for dado antes do balanço completar a oscilação, o movimento será atrapalhado, isso se dá porque o balanço não entra em ressonância com o empurrão uma vez que possuem frequências diferentes.

No experimento do pêndulo triplo, utilizado para demonstrar o fenômeno nesse trabalho, a massa que irá oscilar é, exatamente, a do conjunto que tem a frequência natural igual à frequência da perturbação dada ao suporte. Ao perturbarmos o suporte os pêndulos oscilarão aleatoriamente, mas quando a frequência da perturbação se iguala a frequência natural de um dos pêndulos, a energia é transferida para ele e a amplitude de sua oscilação aumenta. Pode-se utilizar a frequência dos três pêndulos no suporte que o resultado será o mesmo. Somente o pêndulo de mesma frequência terá aumento na amplitude de oscilação.

No vídeo do violão, as vibrações da corda forçam a estrutura da caixa de madeira e entram em ressonância com ela que "amplifica" o som e acrescenta vários harmônicos, dando o timbre característico do instrumento. Com o papel obstruindo, a caixa de ressonância deixa de existir e com isso a ressonância também resultando num som mais fraco do que sem o papel.

A ressonância tem efeitos, geralmente, benéficos e é utilizado propositalmente, mas existem situações que ela não é desejada e que pode causar efeitos catastróficos que é o caso do colapso das estruturas.

Para verificar esse fenômeno no cotidiano, utilizaremos um vídeo. Porém, antes da apresentação, é importante verificar se os alunos conhecem alguma situação que isso ocorre. Depois disso, o vídeo é exibido.

O vídeo utilizado é o famoso vídeo da taça de cristal que quebra ao vibrar com o som de um amplificador. O episódio é até bem conhecido, já que a tentativa de realizar o experimento foi feita na televisão brasileira por algum tempo. Um amplificador emite um som e a taça é forçada a oscilar. Quando o som tem a mesma frequência da taça de cristal, ela entra em ressonância ganhando energia para aumentar a amplitude de oscilação. Essa oscilação tem tamanha amplitude que sua estrutura não suporta e entra em colapso.

A taça de cristal que se quebra, já mencionada, é exemplo disso. Um som com frequência igual à frequência natural da taça é emitido e, por ressonância, o vidro absorve energia e a amplitude de oscilação da taça aumenta, fazendo com que ela vibre dramaticamente até que sua estrutura não suporta e se rompe. Há aqui o colapso da estrutura. Para que isso ocorra, porém, a intensidade do som deve ser grande, uma vez que a altura do som está ligada diretamente à capacidade de deslocar as moléculas de ar. Em poucas palavras, o que acontece é que o som passa de molécula em molécula até chegar à taça. Quando a fonte produz um som alto, ele empurra o ar em direção à taça com mais força. O efeito é muito parecido com o ato de empurrar uma criança no balanço. Quanto mais forte é o empurrão, maior é a

altura que o balanço atinge. No entanto, neste caso, apenas o tranco não é suficiente. É preciso que ele seja compassado de forma que se adapte à oscilação natural do balanço, ou seja, o candidato a quebrador de taças deve cantar a nota musical que combina com a frequência de ressonância da taça.

A quebra de taças por voz humana nunca foi documentada oficialmente, mas existem duas referências clássicas a este assunto: A primeira envolve os famosos tenores italianos Enrico Caruso (1873-1921) e Beniamino Gigli (1890-1957) que afirmavam terem a capacidade de partir um copo a cantar. A segunda é um anúncio comercial para a televisão criado pela companhia Memtek em Forth Worth, em que Ella Fitzgerald parte um copo com a sua voz.

A ressonância está ligada ao movimento ondulatório. Ela ocorre sempre que há impulsos periódicos aplicados num corpo vibrante com a mesma frequência.

### **3.4 RESSONÂNCIA NO COTIDIANO**

As situações em que a ressonância pode ser vista em nosso cotidiano são inúmeras. Além dos casos já exemplificados aqui, temos muitos outros.

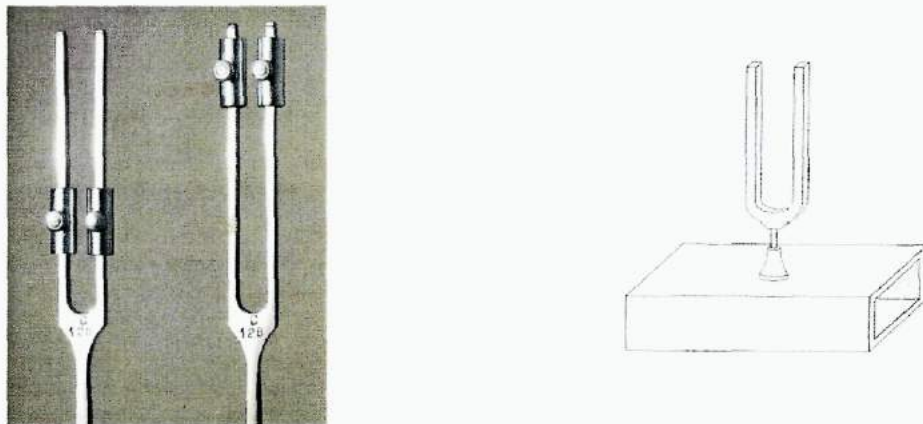
#### **Diapasões**

Na parte acústica é que podemos visualizar a maioria dos exemplos de ressonância. Para afinar instrumentos musicais utilizam-se diapasões que são dispositivos usados por músicos para aferir frequências dos seus instrumentos.

“O diapasão é uma vara em forma de U à qual está fixa uma haste na parte central. É um dispositivo muito utilizado porque uma vez afinado à frequência pretendida, esta mantém-se inalterada durante muito tempo” (HENRIQUE, 2002)

A afinação do diapasão consiste na mudança do tamanho das hastes ou da parte central, mudando sua frequência natural ou própria.

Ao ser excitado, o diapasão emite um som muito baixo que só se ouve se aproximarmos o ouvido. Para que o som seja amplificado, o diapasão pode ser montado sobre uma caixa, normalmente de madeira, de tamanho apropriado. Uma caixa de tamanho apropriado significa que o ar contido na caixa tenha uma frequência de oscilação natural aproximadamente igual à frequência de oscilação do diapasão. Chamamos essa caixa de caixa de ressonância.



**Figura 24: Diapasões e caixa de ressonância (HENRIQUE, 2002)**

## **Caixas de instrumentos musicais**

Como já dito, a caixa de ressonância é utilizada para amplificar o som produzido por algo. No caso dos instrumentos acústicos que não utilizam amplificadores elétricos é necessário que estes possuam a caixa de ressonância para que o som seja amplificado. Podemos citar como exemplos os instrumentos de cordas como a viola, o violão, o violino, o violoncelo e o piano de cauda.

A ressonância nas caixas dos instrumentos não ocorre nas caixas inteiras com todas as frequências. Segundo Henrique (2002), a caixa de ressonância desses instrumentos é feita de modo a amplificar convenientemente as frequências emitidas pela corda. Mas, como a caixa e o ar contido no interior têm os seus modos próprios de vibração, a energia vibratória da corda ao ser transferida para a caixa vai ser amplificada de acordo com as frequências desses modos. O som produzido pela corda é “filtrado” pelo corpo do instrumento.

Os instrumentos que utilizam esse fenômeno normalmente tem o formato de oito, já que o formato do instrumento é que possibilita a ressonância entre as regiões da caixa e os tons emitidos pelas cordas. Já os instrumentos eletrônicos, como as guitarras, podem ter formatos variados, uma vez que amplificam o som eletronicamente.

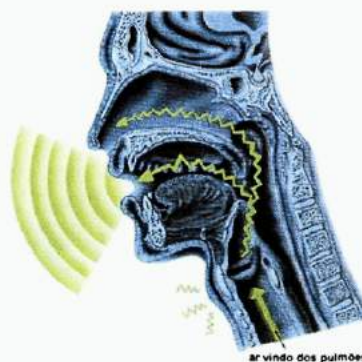


**Figura 25: Violões e suas caixas de ressonância**

### **Voz humana**

A ressonância tem um papel importante na caracterização da voz humana.

“O tracto vocal é um termo usado para designar o conjunto das cavidades laríngea, faríngea, bucal e nasal que constituem a estrutura ressoadora do órgão da voz” (Henrique, 2002). Esse trato vocal possui várias ressonâncias que reforçam as frequências produzidas pelas cordas vocais. Variando a forma do interior da boca, modifica-se a forma do trato vocal e mudam-se as frequências de ressonância que irão determinar qual som será produzido pela pessoa.



**Figura 26: Trato vocal**



## Ouvido humano

O ouvido humano é formado por três partes: o ouvido externo, o ouvido médio e o ouvido interno. O ouvido externo, além de proteger as partes sensíveis do ouvido como o tímpano e absorver a energia sonora transformando em energia vibratória mecânica, tem como função o aumento da intensidade dos sons captados. Essa amplificação resulta da ressonância do som na concha, que é a parte externa do ouvido, e do canal auditivo externo. A frequência de ressonância depende do tamanho do canal auditivo externo.

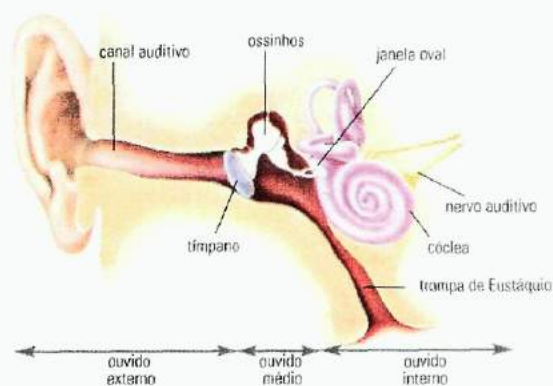


Figura 27: Ouvido (GASPAR, 2000)

## Concha acústica

Construção utilizada em auditórios livres para melhorar a audição dos sons pela plateia. Mais uma vez, a ressonância é o fenômeno responsável pelo funcionamento, e quem determina as frequências sonoras que serão intensificadas são as características geométricas da concha.



**Figura 28: Conchas acústicas**

### **Sintonizador de rádio ou televisão**

A sintonia do rádio e televisão também é resultado da ressonância. Ao sintonizar o rádio ou tv, estamos ajustando a frequência natural do circuito eletrônico do aparelho de modo que se iguale a uma das frequências dos sinais a sua volta. O sistema entra assim em ressonância.

Somente uma estação de rádio é ouvida ou um canal de TV é visto porque somente eles ocupam aquelas determinadas frequências.

### **Forno Micro-ondas**

O forno micro-ondas utiliza a ressonância como base do seu funcionamento.

O forno emite micro-ondas com frequência igual à frequência de agitação das moléculas de água presentes nos alimentos. Essas moléculas entram em

ressonância com as ondas e absorvem a energia dada por elas, aumentando o seu grau de agitação e, por fim, sua temperatura.

O forno micro-ondas é como qualquer outro forno, a única diferença dele para os fornos convencionais é que ele aquece os alimentos através da propagação da radiação eletromagnética em seu interior.

### **Ponte de Manchester e Ponte de Tacoma**

Esses dois casos são exemplos de resultados negativos da ressonância. O fenômeno ocorrido não era, de maneira alguma, desejado.

Em 1831, na Inglaterra, a cavalaria de um exército ao marchar sobre uma ponte para pedestres na região de Manchester causou o colapso da estrutura da ponte uma vez que a frequência da marcha se igualou a frequência própria da ponte aumentando a amplitude de oscilação da estrutura.

Um episódio mais conhecido de desastre ocasionado pela ressonância é o da Ponte Tacoma Narrows, localizada em Tacoma no estado norte-americano de Washington.

Em 1940, ventos que sopravam naquela região deram origem a oscilações laterais, de torção na ponte. Essas oscilações possuíam a mesma frequência natural da ponte, produzindo um crescimento na amplitude da vibração resultando no colapso da estrutura da ponte.



**Figura 29: Ponte de Tacoma em colapso**

As pontes pênséis, como a de Tacoma, são construções que sofriam muito com esse efeito. Depois desse episódio, inúmeros estudos foram realizados a esse respeito para compreender essa catástrofe e impedir que o mesmo acontecesse a outras pontes.

Atualmente, para a construção de pontes pênséis, é feito um estudo sobre os possíveis ventos na localidade para que a estrutura não possua frequência parecida com a frequência dos ventos.



**Figura 30: Nova ponte de Tacoma**

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo dar ênfase ao ensino de Oscilações Forçadas e Ressonância por ser um conteúdo que não tem a devida abertura no atual cenário escolar e que são fenômenos que ocorrem normalmente.

Para que o aprendizado ocorresse eficazmente, a relação conteúdo/prática foi bem explorada. A percepção do conteúdo em situações reais e comuns aos alunos e a utilização de experimentos e apresentação de vídeos em sala de aula foi de extrema importância uma vez que esse trabalho está de acordo com as ideias de Ausubel, Vygostky e Piaget.

O trabalho procurou desenvolver uma aprendizagem significativa, defendida por David Ausubel, que utiliza conceitos pré-existentes na estrutura cognitiva dos alunos. O ensino não parte, portanto, da imposição do conhecimento pelo professor, mas de uma interação entre aluno e professor onde este atua como o mediador do aprendizado criando a zona de desenvolvimento proximal onde essas interações ocorrem, conforme Vygotsky define.

Para que o ensino se desse de modo satisfatório, foi necessário mostrar ao aluno a importância do assunto em questão para seu cotidiano e que ele o avaliasse dessa forma. A aprendizagem ocorre facilmente quando, na lógica do aluno, o assunto é interessante e não somente mais um tema obrigatório no cronograma da escola. O aluno deve ser ativo no aprendizado diferentemente do indivíduo passivo que espera o conhecimento proveniente do professor e que não participa da construção do aprendizado. Essa passividade está presente nas escolas nos dias atuais.

As oscilações forçadas e a ressonância são, até os dias de hoje, assuntos abordados timidamente ainda no cenário escolar e, de certa forma, por causa do processo seletivo para a formação profissional dos indivíduos. O ensino das nossas escolas ainda focalizam os vestibulares que não cobram esse assunto. A física deve ser ensinada por um prisma de importância para a compreensão da vida e é isso que esse trabalho veio defender.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, B.; MÁXIMO, A. **Curso de Física**, Vol.2. 5ª Ed. Editora Scipione, São Paulo, SP, 2000.

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982

BRASIL, Ministério da Educação – MEC, Secretaria de Educação Média e Tecnológica – SEMTEC. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2000. Disponível no site: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12598%3A\\_publicacoes&Itemid=859](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12598%3A_publicacoes&Itemid=859) Acessado em 15/11/11

BECKER, F. 1993. **Modelos Pedagógicos e Modelos Epistemológicos**. Porto Alegre. Paixão de Aprender, n.5:18-23.

CASTRO, C. M. **O Secundário: esquecido em um desvão do ensino?** in: *Série Documental. Textos para discussão*, Brasília, MEC/INEP, 1997.

FREITAS, M. T. de A. 2000. **As apropriações do pensamento de Vygotsky no Brasil: um tema em debate**. In: Psicologia da Educação. Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Psicologia da Educação. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, n.10/11: 9-28.

GASPAR, A. **Física**, Vol.2. 1ª ed. São Paulo, Editora Ática, SP, 2000.

GIUSTA, A. da S. 1985. **Concepções de Aprendizagem e Práticas Pedagógicas**. In: Educ.Rev. Belo Horizonte, v.1: 24-31.

GRECO, B. F., **Vibrações e construções: conceito de ressonância**. Disponível em:

[http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem1\\_2008/BrunoFG-Ugarte\\_RF2.pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2008/BrunoFG-Ugarte_RF2.pdf) (15/06/12).

HENRIQUE, L. L. **Acústica Musical**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 2002.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. Tradução: Trieste Freire, Maria Helena Gravina,. 9ª Ed., Porto Alegre, Editora BookMan, RS, 2002.

Moderno Dicionário da Língua portuguesa **MICHAELIS**. Disponível online: <http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php?lingua=portugues-portugues&palavra=oscilar> (20/10/12)

MORAN, J. M. 1993 **Leituras dos meios de comunicação**. São Paulo, Ed. Pancast.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Ed. da UnB, 1998

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica, 2.** 4ª Ed rev. São Paulo, Editora Blücher, SP, 2002

PEREIRA, M.; FILIPECKI, T.; BARROS, S. **Demonstrações controladas de fenômenos térmicos gravados em vídeo.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16., Rio de Janeiro, 2005. Atas... São Paulo

PIAGET, J. **A tomada da consciência.** Tradução: Edson Braga de Souza. São Paulo: Melhoramentos, EDUSP, 1977. 211p.

RAMALHO Junior, F; Ferraro NICOLAU, G.; Soares, P. A. de TOLEDO. **Os Fundamentos da Física 2.** 9ª Ed. São Paulo, Editora Moderna, SP, 2007

SCHROCK, Karen. **Uma cantora de ópera pode quebrar uma taça com a voz?** Scientific American Brasil. Disponível em: [http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/uma\\_cantora\\_de\\_opera\\_pode\\_quebrar\\_uma\\_taca\\_com\\_a\\_voz\\_.html](http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/uma_cantora_de_opera_pode_quebrar_uma_taca_com_a_voz_.html) (29/06/12)

A Física na Linha do tempo  
<http://www.sofisica.com.br/conteudos/HistoriaDaFisica/linhadotempo.php>

VÍDEO 1: **Ressonância no violão** – filmagem própria

VÍDEO 2: **Breaking a wine glass using resonance - 2006** (17/09/2012)  
<http://www.youtube.com/watch?v=17tqXgvCN0E>

FOTOS – Sites visitados no dia 28/09/2012:

<http://pontodefugaarquitectura.blogspot.com.br/2011/08/colapso-historico-ponte-de-tacoma-eua.html>

<http://baitapost.com/efeito-de-ressonancia-ponte-de-tacoma/>

<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=837504&page=2>

<http://www.fendebe.com/fichafoto/232/concha-acustica-ii>

<http://www.mundomax.com.br/blog/tag/violao-iniciante/>