

12/12/07  
10h



**Licenciatura Noturna em Física**  
**Instituto de Física**  
**UFRJ**

**Projeto de Instrumentação de Ensino**

**Estratégias de aula para o tema ondas  
sonoras.**

**Aluno: Alexandre Santana Mattos**

**Orientador(a) João José F. Sousa**

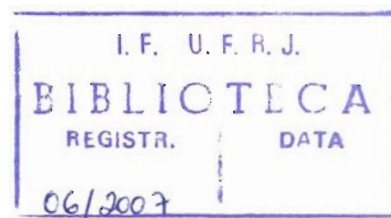
**Banca:**

**Lígia de Farias Moreira**

**Francisco Artur Braun Chaves**

**Suzana de Souza Barros**

**Dezembro de 2007**



## Estratégias de aula para o tema ondas sonoras.

### Índice:

1. Introdução.....	03
2. Mudança conceitual./ Perfil conceitual.....	05
3. Motivação.....	08
4. Concepções Alternativas .....	15
5. Mapa conceitual sobre ondas.....	25
6. Ondas.....	26
7. Fenômenos ondulatórios.....	29
8. O som que ouvimos.....	38
9. A música.....	43
10. Instrumentos de corda.....	46
11. Questões propostas para um pós teste.....	51
12.Conclusões .....	55
13. Bibliografia .....	56

## 1. Introdução

Um dos aspectos fundamentais do ensino-aprendizado no estudo da Física é conhecer como os estudantes observam e compreendem que o mundo físico que os cerca em seu dia-dia é o mesmo mundo físico da sala de aula. Qual a criança ainda não vivenciou situações tipicamente físicas em brincadeiras como jogar bola, brincar no balanço da praça, soltar balões e outras? A Física se encontra em diversas, se não em todas as atividades de qualquer um de nós, porém na maioria das vezes estas ocorrências passam despercebidas sob o ponto de vista científico. Quando um aluno inicia no estudo de Física, este se vê num universo maçante de códigos sem muito significado, num processo repetitivo, sem que isto o leve a principal meta do ensino, a aprendizagem. O processo tradicional provoca um distanciamento entre o que o estudante vivencia e o que a sala de aula propõe. A pergunta mais comum feita pelos estudantes é: Porque eu devo estudar Física? Eu não quero ser um cientista!!! .

Podemos dizer com segurança que o mundo contemporâneo sofre transformações contínuas e que a sociedade em que vivemos é uma sociedade tecnológica. No atual contexto, o grau de desenvolvimento de uma sociedade é determinado a partir do seu desenvolvimento tecnológico. Mesmo que um indivíduo não tenha interesse algum em pesquisas acerca das inovações tecnológicas, ele tem consciência de que o desconhecimento poderá desencadear a sua exclusão em diversas atividades da vida moderna, por exemplo o uso de telefones celulares, caixas eletrônicos, computadores pessoais e em algumas cidades, até no transporte público.

A difícil equação da produção de energia e as questões ambientais mostram a necessidade da interação entre as ciências, e as soluções dependem não somente de políticas públicas, mas da conscientização e de pesquisas no âmbito tecnológico.

A tecnologia é um produto da Ciência.

Assim uma das funções de um professor de Física é transformar a *Física da sala de aula* para a *Física da Vida*.(Brasil, 1999)

O objetivo deste trabalho é fundamentar aulas de física ondulatória a luz do construtivismo citando os elementos: *Motivação* e as *Concepções Alternativas*.

- A motivação visa envolver o aluno como parte do processo de aprendizagem. Trabalhos de Ausubel et al (1980) e Gowin (1981) nos mostram o paradigma construtivista, segundo o qual, cada indivíduo vai estruturando e reestruturando o seu próprio conhecimento. A aprendizagem é um processo pessoal e idiossincrático (Gowin, 1981). A construção do conhecimento é transdimensional, com dimensões cognitivas (lógico-matemática, linguística, cinestésica, etc.), afetivas (emocional, sentimental, volitiva, etc.) e axiológicas (as que dizem respeito aos mais variados valores). O aluno se dedica e constrói seu conhecimento desde que se sinta motivado.
- As concepções alternativas estão fundamentadas na estrutura cognitiva da apropriação de um conceito onde há a ocorrência de transformação de conceitos prévios. “Averigue o que o aluno já sabe e ensine-se em conformidade com o que o aluno já sabe” (D.Ausubel, apud. Pietrocola 2001). Para a mudança conceitual o próprio estudante deve se conscientizar de suas concepções, e este é um elemento importantíssimo para que o professor possa orientar o aluno na aprendizagem e em consequência a acomodação de um novo conceito(Posner , apud. Pietrocola, 2001). O objetivo é libertar o aluno de uma etapa mecânica, apenas de memorização, tornando a aprendizagem mais consistente, uma vez que há uma interação entre um domínio prévio e o teórico conceitual, com vistas a soluções novas, a partir da mudança conceitual.

## 2. Mudança conceitual / Perfil conceitual

Piaget desenvolveu a teoria do conhecimento – construção mostrando a necessidade de movimento do pensamento humano. Os construtivistas acreditam que nada está definitivamente acabado. O aprendizado requer a ação do sujeito sobre o objeto, ou seja, o conhecimento se constitui na interação do indivíduo com o meio físico e social, promovendo a transformação do sujeito e do meio. Conhecer é transformar o objeto e a si mesmo. Assim o processo educacional que não proporciona transformações estará negando a si mesmo. O construtivismo visa organizar o processo educacional para que o educando passe a agir, operar e criar a partir da realidade vivida por ele e pela sociedade.

Segundo Piaget a evolução intelectual de um indivíduo ocorre com a adaptação do organismo ao meio como “... um equilíbrio entre a assimilação e a acomodação” (Piaget. apud. Bizzo / El-Hani 1999). Posner e colaboradores (1982) descrevem quatro condições necessárias, na maioria dos casos, para que ocorra a acomodação de um novo conceito: Inteligibilidade, Plausibilidade, Fertilidade e Insatisfação. O significado de uma concepção emerge de suas conexões com os demais elementos da rede de conceitos que constitui a ecologia conceitual do indivíduo. Uma concepção inteligível também será fértil, se o indivíduo considerar que ela traz algo de valioso para ele. Sob análise inversa, como uma concepção que não é inteligível poderia se mostrar plausível ou fértil? A inteligibilidade se mostra então uma concepção extremamente forte para a acomodação, porém não a exclusiva. A eficácia do processo requer o conjunto das concepções, pois se uma concepção gera a insatisfação ela é contra-intuitiva, pouco plausível, ou fértil e tende a ser eliminada pelo aprendiz.

### *Mudança Conceitual*

Uma das formas mais influentes do construtivismo, amplamente aplicada na década de 80 até o início da década de 90, está baseada na possibilidade de produzir a *mudança conceitual* do aprendiz. O objetivo das estratégias para a mudança conceitual é produzir no estudante, mediante a manipulação do professor de situações conflitantes, uma insatisfação de suas concepções prévias e eventualmente, uma substituição por idéias científicas. ( El-Hani - Bizzo 1999. ).

Em termos gerais a construção do conhecimento segue os princípios:

- a) O aluno, quando aprende de maneira significativa, não reproduz simplesmente o que lhe foi ensinado, mas constrói significados para suas experiências.
- b) Compreender algo supõe estabelecer relações entre o que se está aprendendo e o que já se sabe.
- c) Toda a aprendizagem depende de conhecimentos prévios.

Posner e colaboradores (1982) consideram que a aprendizagem é um processo que envolve compreender e aceitar idéias que sejam inteligíveis e racionais. O aprendiz deve verificar que existem situações que não consegue explicar com o seu modelo conceitual, levando-o ao descontentamento e posterior substituição.

A estratégia da mudança conceitual começou a ser questionada em função da persistência das concepções prévias, já que dificilmente são abandonadas pelos estudantes, pois fazem parte de uma aprendizagem significativa construída em relações sociais e pertencem a ecologia conceitual do aluno. O padrão mais comum é a coexistência de dois modelos, o prático (concepção alternativa) e o científico (concepção formal).

A noção de perfil conceitual (Mortimer apud. Pietrocola 2001 ), propõe a ruptura da unicidade de conceitos, conectando-os a regiões fronteiriças do conhecimento, ou seja, não somente com o ensino de física, mas lida com as ciências humanas e também com outras formas de conhecimento não-científicas, pertencentes às suas experiências individuais e culturais anteriores que influenciam o ensino-aprendizado.

Colocando, num mesmo perfil, concepções espontâneas e conceitos físicos, cria-se uma referência que permite traçar a linha evolutiva dos conceitos e identificar os possíveis obstáculos relativos à construção de idéias mais avançadas. Esses estudos revelam a existência de uma “física” da vida cotidiana, onde palavras como onda, altura e intensidade sonora são usadas com significados diversos daqueles usados na sala de aula de física. Imagine a situação onde alguém incomodado com o volume de um rádio peça para “baixar a altura do som”. Fisicamente o conceito está incorreto, pois a altura de uma onda sonora está associada à frequência e não ao volume, que está associado à intensidade. Mas no contexto social a relação volume/altura está sedimentada e isto não trará nenhum prejuízo em sua formação, desde que ele tenha a noção de intensidade sonora. A literatura tem mostrado que as concepções sobrevivem às mais variadas estratégias de ensino, mesmo aquelas elaboradas com o objetivo de suprimi-las. Essa persistência talvez possa ser explicada pela utilidade dessas concepções na nossa cultura cotidiana. Seria um esforço inútil tentar suprimi-las, já que elas são apropriadas num contexto específico.

### 3. Motivação

Como motivar o estudante a participar e agir no processo de ensino? Sabe-se que sem interesse a aprendizagem corre um grande risco em não ocorrer, ou acontecer de forma mecânica. Uma sutil tarefa do educador é encontrar os motivos que possam alcançar o interesse dos estudantes. Existindo alguma curiosidade por parte do aluno ele se dedica mais intensamente, tornando o processo efetivo.

Seja pela experiência em sala de aula ou pela manifestação dos estudantes nas respostas dadas no questionário, mostrado a seguir, pag.9, fica claro que o estudante que compartilha códigos e significados com o professor participa do processo e atingirá o objetivo da aprendizagem. Mas se o professor se apropria de códigos de domínio da turma, em detrimento dos códigos próprios, mais alunos poderão ser atingidos. Esta atitude é vista pelos alunos como uma “atitude simpática” e não é raro quando o estudante passa a se dedicar mais intensamente para conseguir bons resultados correspondendo ao professor dedicado, visando premia-lo pelo esforço.

Que técnicas podem ser utilizadas para fins motivacionais?

Técnicas motivacionais intrínsecas são aquelas relacionadas à própria aula, tais como:

- Participação ativa
- Atividades socializadoras
- Auto e heterocompetição
- E principalmente a correlação com o real

As técnicas extrínsecas estão relacionadas aos resultados posteriores à aula, tais como:

- A própria nota
- A possibilidade de reprovação
- O sucesso em exames de classificação



### 3.1 Questionário:

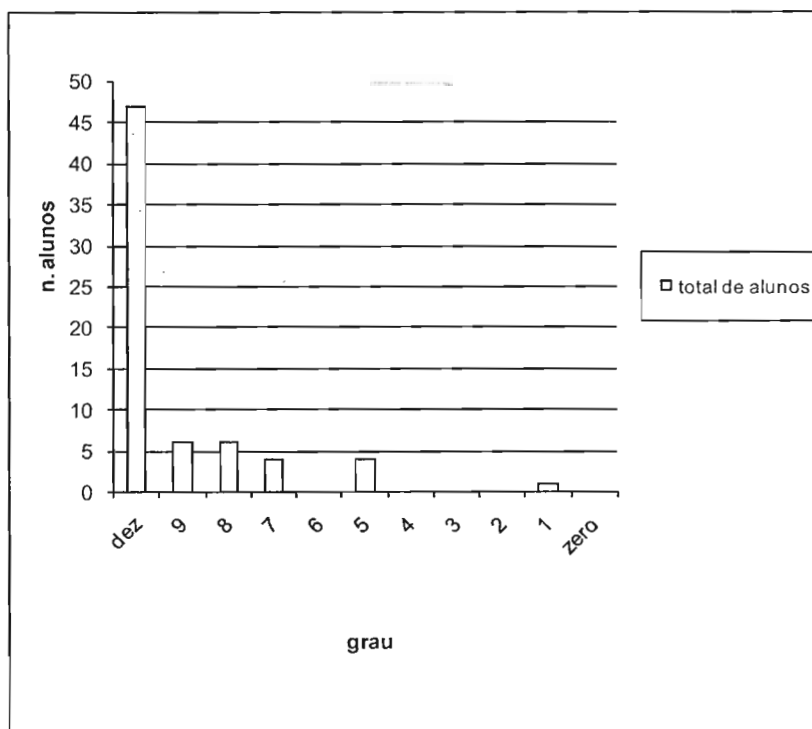
Estudantes de escolas da rede particular de ensino do Grande Rio (Baixada Fluminense, Zona Oeste e Zona Norte), responderam um questionário, a fim de expressar se os fatores citados seriam motivadores para o seu interesse pela aula de Física, onde deveriam respondê-lo numa escala de zero a dez, atribuindo o grau zero a total discordância e o grau dez a máxima concordância.

Responderam o questionário 68 alunos na faixa etária entre 16 e 21 anos matriculados em turmas de 2ª e 3ª séries do ensino médio regular, com uma característica marcante de seguidas mudanças de instituições de ensino.

#### 1. Questão: Participação (motivação intrínseca)

A aula de Física é melhor quando posso participar ativamente da aula dando exemplos e perguntando

Grau atribuído pelos estudantes	Total de alunos
Dez	47
9	6
8	6
7	4
6	-
5	4
4	-
3	-
2	-
1	1
Zero	-

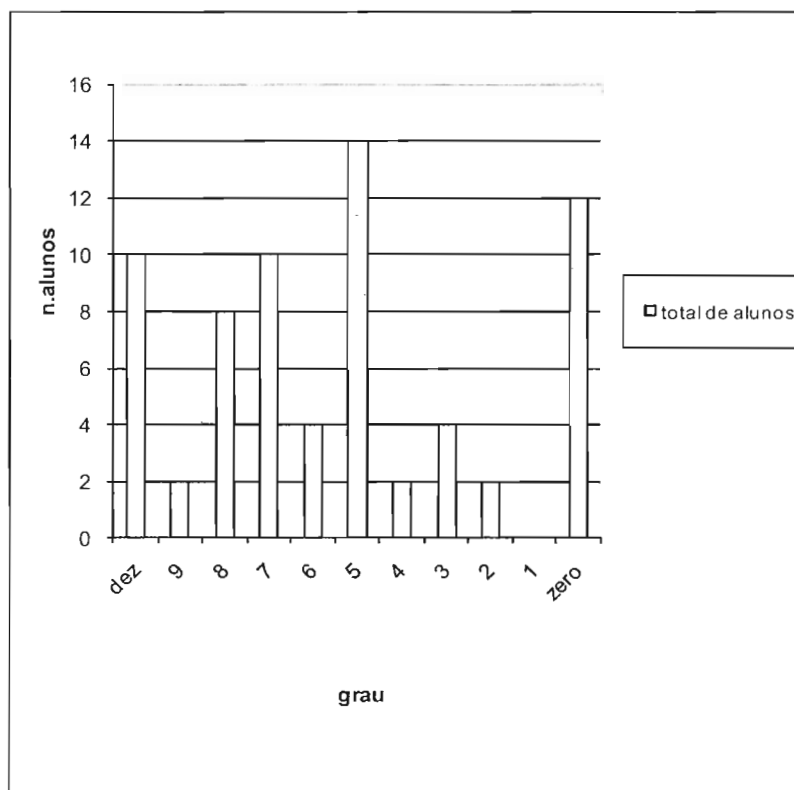


Gráf.1 representação do número de alunos pelo grau atribuído à questão

## 2. Questão: Atividades socializadoras (motivação intrínseca)

Fico entusiasmado quando, através de um conceito aprendido na aula de Física, entendo como as coisas funcionam.

Grau atribuído pelos estudantes	Total de alunos
Dez	10
9	2
8	8
7	10
6	4
5	14
4	2
3	4
2	2
1	-
Zero	12

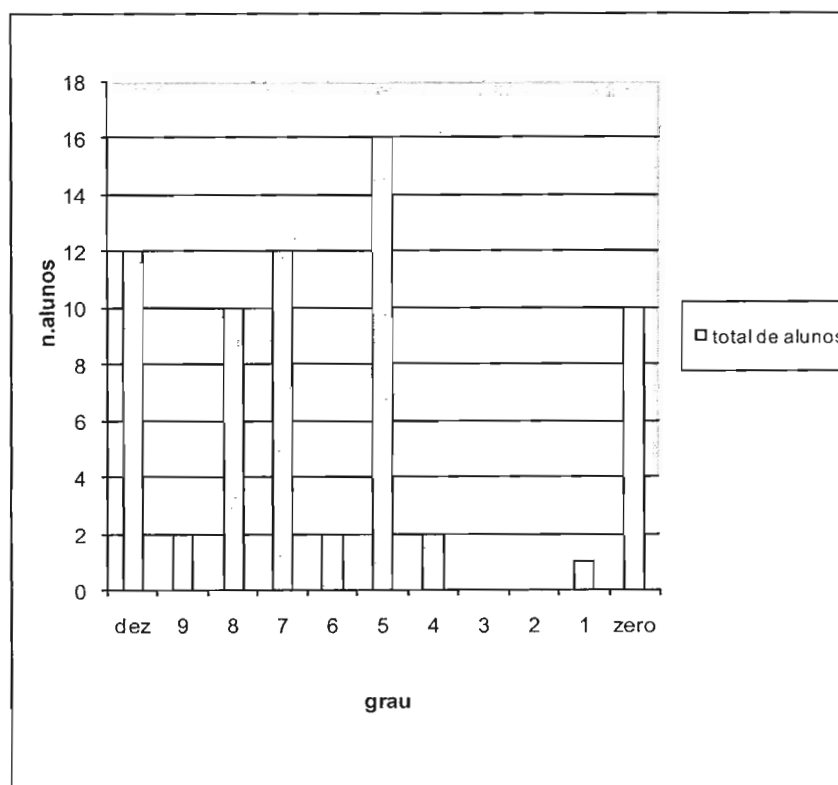


Gráf. 2 representação do número de alunos pelo grau atribuído à questão 2

### 3. Questão: Auto e Heterocompetição (Motivação intrínseca)

Gosto do desafio de resolver exercícios de Física. Quanto mais me exercito, mais fácil fica entender e gostar da aula.

Grau atribuído pelos estudantes	Total de alunos
Dez	12
9	2
8	10
7	12
6	2
5	16
4	2
3	-
2	-
1	1
Zero	10

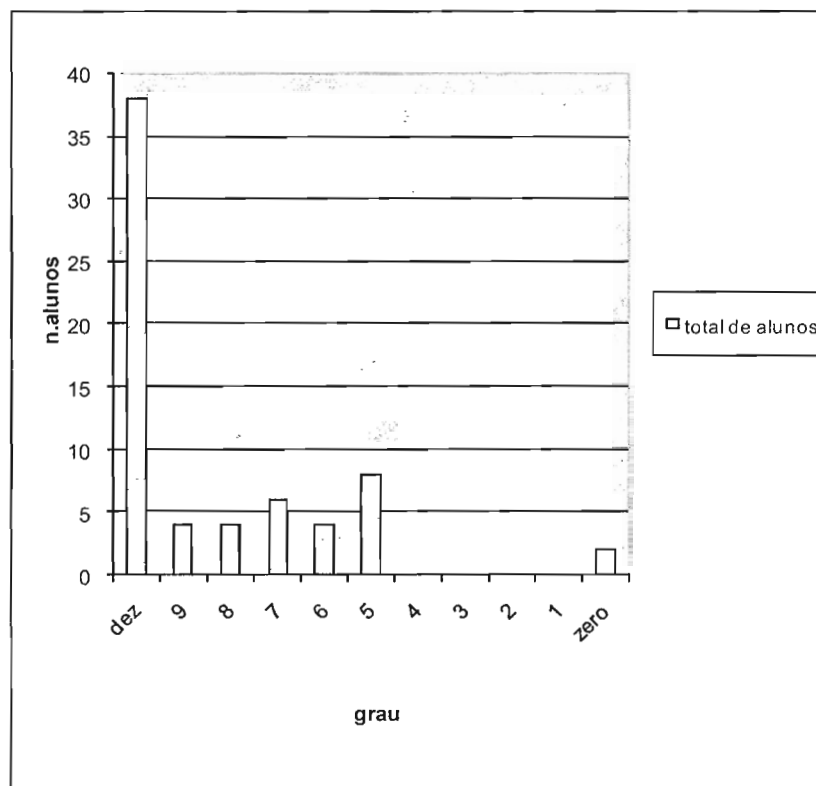


Gráf. 3 representação do número de alunos pelo grau atribuído à questão 3

#### 4. Questão: Correlação com o cotidiano (Motivação intrínseca)

A aula de Física é melhor quando tratamos de problemas relacionados a coisas que eu conheço.

Grau atribuído pelos estudantes	Total de alunos
Dez	38
9	4
8	4
7	6
6	4
5	8
4	-
3	-
2	-
1	-
Zero	2

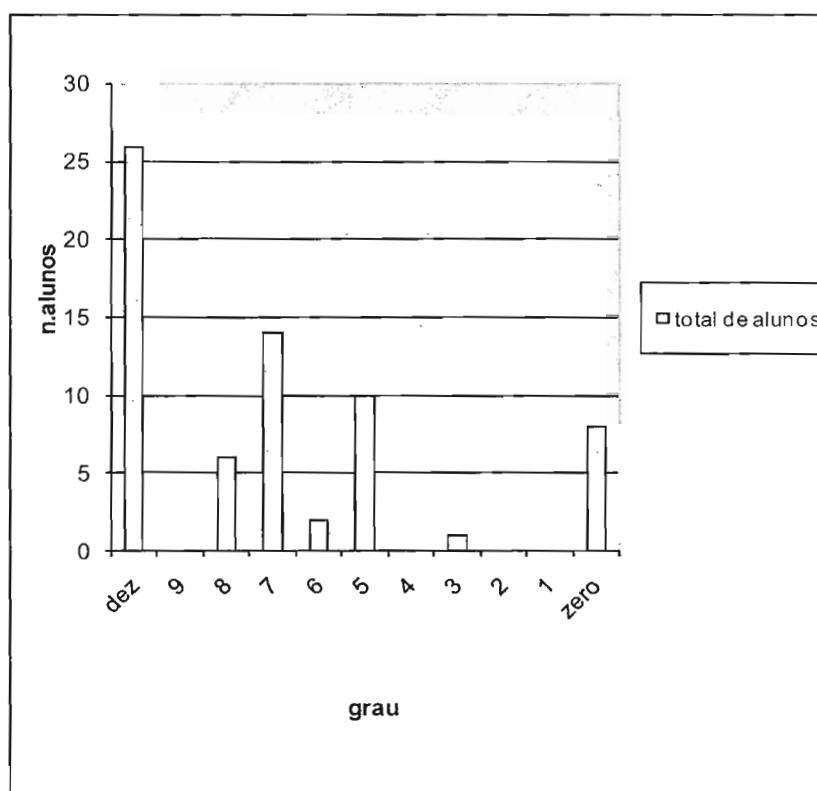


Gráf. 4 representação do número de alunos pelo grau atribuído à questão 4

### 5. Questão: A nota (motivação extrínseca)

Quando tiro uma nota baixa em uma prova, fico motivado a estudar mais para melhorar meu desempenho.

Grau atribuído pelos estudantes	Total de alunos
Dez	26
9	-
8	6
7	14
6	2
5	10
4	-
3	1
2	-
1	-
Zero	8

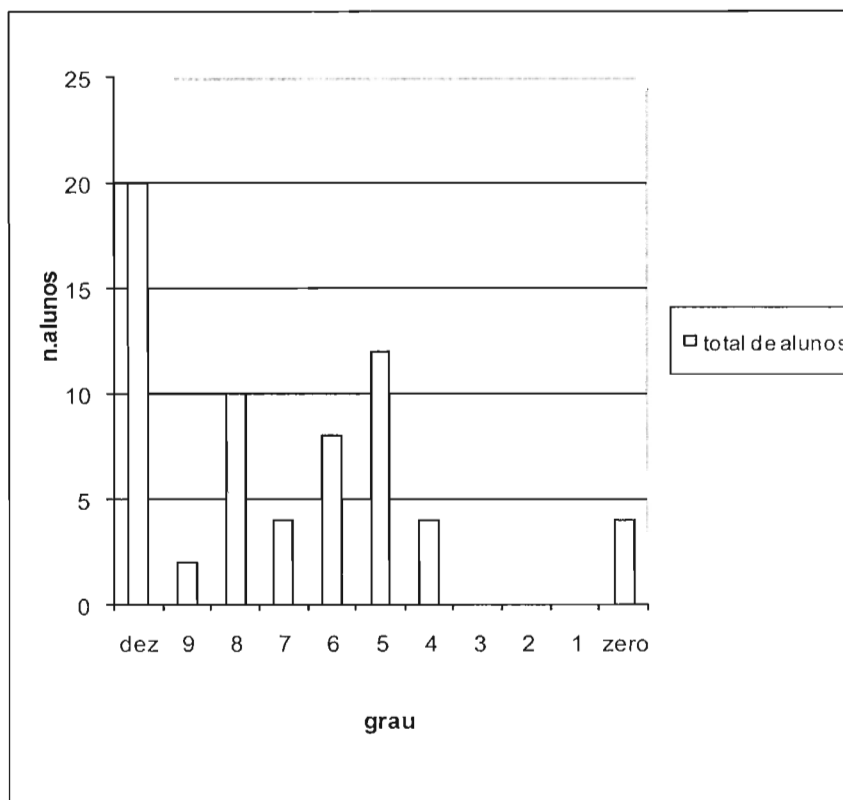


Gráf. 5 representação do número de alunos pelo grau atribuído à questão 5

#### 6. Questão: Exames de classificação (motivação extrínseca)

Acho importante a rotina de resolver exercícios complexos, pois isso me capacita para exames de classificação como os vestibulares.

Grau atribuído pelos estudantes	Total de alunos
Dez	20
9	2
8	10
7	4
6	8
5	12
4	4
3	-
2	-
1	-
Zero	4



Gráf. 6 representação do número de alunos pelo grau atribuído à questão 6

As técnicas motivacionais sejam intrínsecas ou extrínsecas buscam comprometer o aluno com o processo de aprendizagem.

A aprendizagem é uma responsabilidade que não pode ser dividida, ou seja, o aprendiz e o professor têm papéis bem definidos. O professor deve criar os mecanismos para estimular os estudantes a se dedicarem promovendo a aprendizagem, em quanto o aluno deve participar das atividades de ensino permitindo a construção do seu conhecimento.

## 4. Concepções Alternativas

Ao iniciar no estudo de ciências, de um modo geral, o estudante já traz consigo curiosidades e suas próprias explicações. Os modelos que os estudantes usam para explicar os fenômenos do seu mundo físico se desenvolvem no seu âmbito social, sem que haja necessariamente vínculos com os conceitos teóricos formais. Esses conceitos informais geram as concepções alternativas. As concepções alternativas levam o aluno à compreensão coerente da realidade sob seu ponto de vista e equivocada à luz da ciência, contudo, num paradigma dialético, podem constituir a base de uma aprendizagem significativa.

Aprendizagem significativa – (segundo D Bob Gowin)

O processo ocorre com a reorganização ativa de uma rede de significados pré-existent na estrutura cognitiva de um indivíduo.

Aprendizagem significativa – (segundo David Ausubel)

Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, enunciaria este: de todos os factores que influenciam a aprendizagem, o mais importante é o que o aluno já sabe.” Averigue-se o que o aluno sabe e ensine-se em conformidade.”

Segundo todos os autores a aprendizagem ocorre com a mudança conceitual do aluno. Reorganização, integração construtivista do pensamento são ações inerentes a construção do pensamento científico, modelo que podemos perceber de modo muito semelhante ao próprio desenvolvimento da ciência. Seguindo o próprio contexto histórico, a evolução da Física Aristotélica para a Física de Galileu e Newton ocorreu ao longo de séculos, se adaptando em função de uma nova visão, com referências prévias. Contudo não há nada de errado com o aluno que pensa como os cientistas já pensaram ser correto algum dia. A aprendizagem, segundo a teoria construtivista, ocorre quando há uma mudança conceitual. Os

conhecimentos novos são relacionados de modo substantivo com proposições e conceitos relevantes previamente disponíveis na estrutura cognitiva.

#### **4.1 Questionário Diagnóstico**

O questionário foi introduzido com o objetivo de levantar os conhecimentos pré-existent sobre a propagação ondas. Seguindo o paradigma de Ausubel: “Averigue-se o que o aluno já sabe e ensine-o em conformidade”.

O questionário foi aplicado numa turma de quinto período, equivalente ao terceiro segmento do ensino médio de uma instituição de ensino privada, localizada na baixada fluminense, turno diurno, com 29 alunos.

1. Questão: O som é:

- a) Uma coisa que leva as moléculas de ar até os ouvidos.
- b) Uma espécie de vento.
- c) Energia que se propaga nos meios materiais, o ar, por exemplo.
- d) Uma força que empurra, de certo modo, uma quantidade de ar que esta a sua frente.

Comentários:

Alternativa a – errada, não há transporte de matéria.

Alternativa b – errada, não há transporte de matéria e exclui-se a propagação em sólidos e líquidos.

Alternativa c-Correta, propriedade de transporte exclusivo de energia num meio material das ondas mecânicas.

Alternativa d – ondas não se associa a forças



2. Questão: Você não ouve o som de (o): (produção sonora)

- a) Um balão de ar que estoura.
- b) Uma pessoa falando em baixo d água.
- c) Ar escapando suavemente de um balão que esvazia.
- d) Luz de um relâmpago.

Comentários:

Alternativa a – errada, o som é produzido pela velocidade com que a pressão de ar varia.

Alternativa b – errada, o som se propaga em líquidos.

Alternativa c – correta, se o balão esvazia suavemente há pequena variação de pressão.

Alternativa d – errada, a velocidade de propagação da luz é muito maior do que a velocidade de propagação do som no ar. O som só é ouvido depois da visualização do relâmpago.

3. Questão: Para aumentar a velocidade de propagação em uma corda você deve: (Fatores que interferem na velocidade de propagação numa corda esticada)

- a) Mover a mão rapidamente.
- b) Imprimir mais força ao movimento.
- c) Mover a corda vagarosamente.
- d) Mudar a tensão “estiramento da corda”.

Comentários:

Alternativa a - errada, mover a mão rapidamente não altera a velocidade de propagação de uma onda numa corda. O que se consegue é reproduzir mais vezes uma nota musical.

Alternativa b – errada, aumentando a força há um aumento de energia da fonte, ou seja, na amplitude da onda.

Alternativa c - errada, a vagarosidade implica em reduzir o numero de notas musicais soando emitidas pelo instrumento.

Alternativa d – correta, aplicação do conceito  $v = (T/\mu)^{1/2}$ . A velocidade é função explícita da força de tensão.

4. Questão: Uma guitarra e um violão são tocados executando a mesma nota musical, simultaneamente. Para um ouvinte à mesma distancia dos instrumentos é correto afirmar que:

- a) Os instrumentos estão emitindo sons de mesma frequência.
- b) A pessoa ouve com a mesma intensidade o som dos instrumentos.
- c) Não é possível distinguir o som de cada instrumento.
- d) A frequência emitida pela guitarra é maior.

Comentários:

A alternativa a – correta, o fato dos instrumentos executarem a mesma nota musical esta relacionado com a frequência.

A alternativa b – errada, a intensidade do som esta relacionada com a energia que a onda transporta conseqüentemente com a potência. Assim, o som produzido pela guitarra amplificada tem maior intensidade sonora.

A alternativa c – errada, graças ao timbre pode-se identificar sons de mesma frequência emitidos por instrumentos diferentes mesmo quando executados simultaneamente.

A alternativa d – errada, a frequência esta relacionada com a altura do som não com a intensidade sonora.

5. Questão: Sempre que um sistema vibra com frequência igual à frequência da fonte excitadora ocorre o fenômeno de ressonância. Quando um sistema oscilante entra em ressonância a fonte fornece a maior quantidade de energia a este sistema que tem sua amplitude ampliada. Em 1940 a ponte de Tacoma, nos EUA, caiu quando uma ventania a atingiu lhe imprimindo impulsos periódicos. No Violão este fenômeno é observado quando você:

- a) Estica a corda até que ela arrebente.
- b) Aperta-se a corda na metade do seu comprimento.
- c) Toca duas cordas ou mais ao mesmo tempo.
- d) Apenas toca qualquer uma das cordas.

Comentários:

A alternativa a – errada, o aumento na força de tração na corda acarreta no aumento da frequência, e ainda, a ressonância não esta associada apenas à destruição.

A alternativa b – errada, o fato de reduzir o comprimento útil da corda altera sua frequência, passando a emitir um som de frequência duas vezes maior, ou seja,  $2f_0$ .

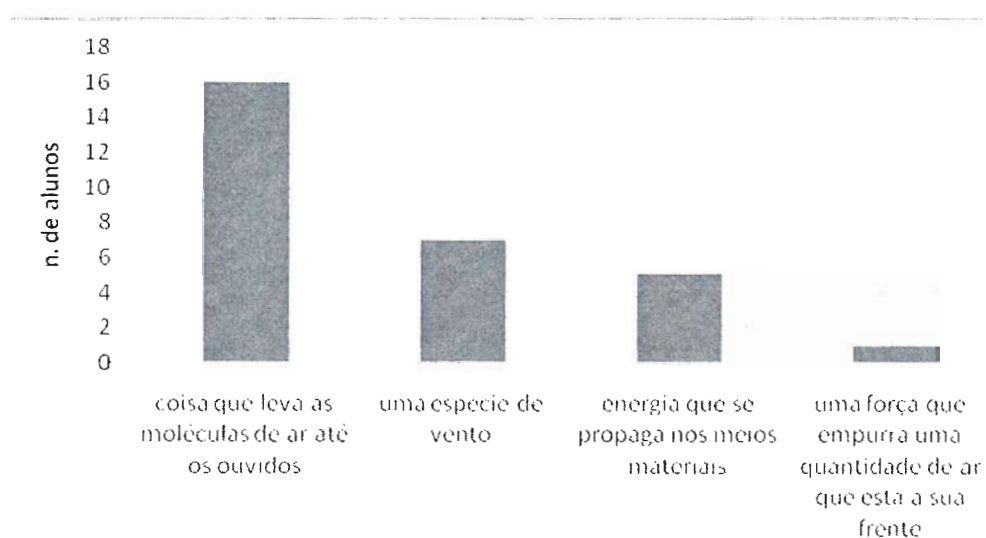
A alternativa c – errada, a execução simultânea pode produzir sons harmoniosos (consonantes), não harmoniosos (dissonantes) ou batimentos. Mas estes conceitos nada têm a ver com o principio da ressonância.

A alternativa d - correta, o violão e outros instrumentos não amplificados são construídos de modo a amplificar o som da vibração das cordas que entram em ressonância com o ar que fica acumulado em seu interior numa região denominada caixa de ressonância. Como os instrumentos podem emitir varias frequências para atendê-las os instrumentos apresentam a caixa de ressonância num formato próximo a um numero oito 8.

## Respostas do questionário diagnóstico.

### 1. O som é:

a) Uma coisa que leva as moléculas de ar até os ouvidos	16
b) Uma espécie de vento	7
c) Energia que se propaga nos meios materiais	5
d) Uma força que empurra uma quantidade de ar que esta a sua frente	1

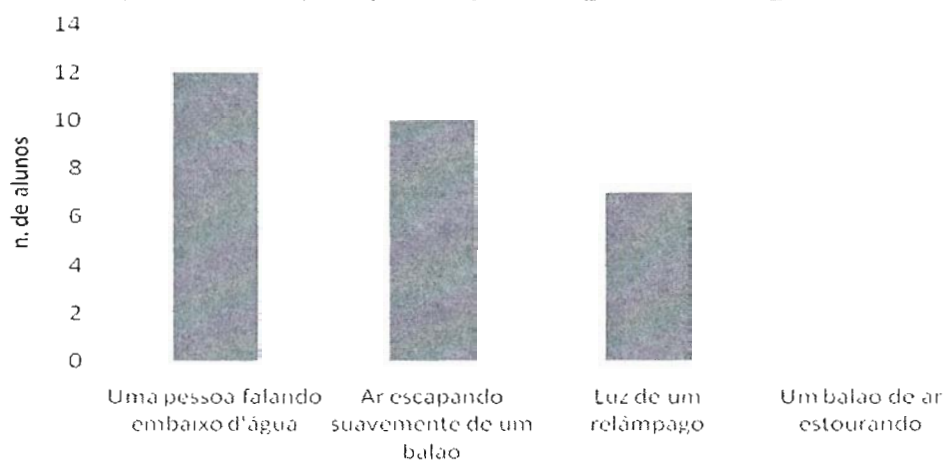


Gráf. 7 representação do número de alunos pelos eventos da questão 1 do questionário diagnóstico

- A grande maioria dos estudantes, 56%, se sentiu atraídos pela alternativa “a” vinculando a idéia equivocada do transporte de matéria.

2 Você não ouve o som de (o):

a) Uma pessoa falando embaixo d'água	12
b) Ar escapando suavemente de um balão	10
c) Luz de um relâmpago	7
d) Um balão de ar estourando	0

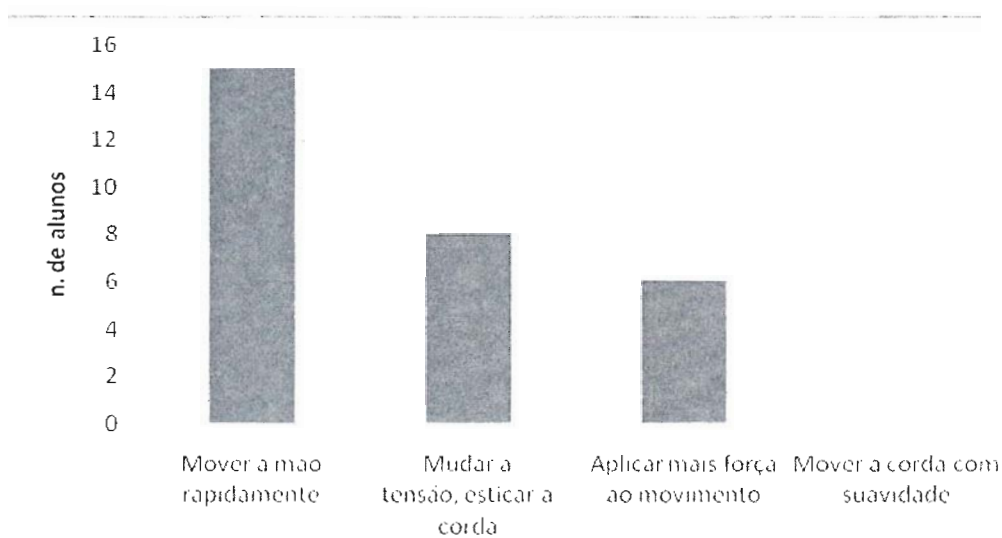


Gráf. 8 representação do número de alunos pelos eventos da questão 2 do questionário diagnóstico

- Todos os alunos desprezaram a alternativa “a” por se tratar de uma situação prática e que não merecia uma apreciação mais formal. Porém 42% dos estudantes consideraram erradamente que o som não se propaga em líquidos.

3 Para aumentar a velocidade de propagação em uma corda você deve:

a) Mover a mão rapidamente	15
b) Mudar a tensão, esticar a corda.	8
c) Aplicar mais força ao movimento	6
d) Mover a corda com suavidade	0



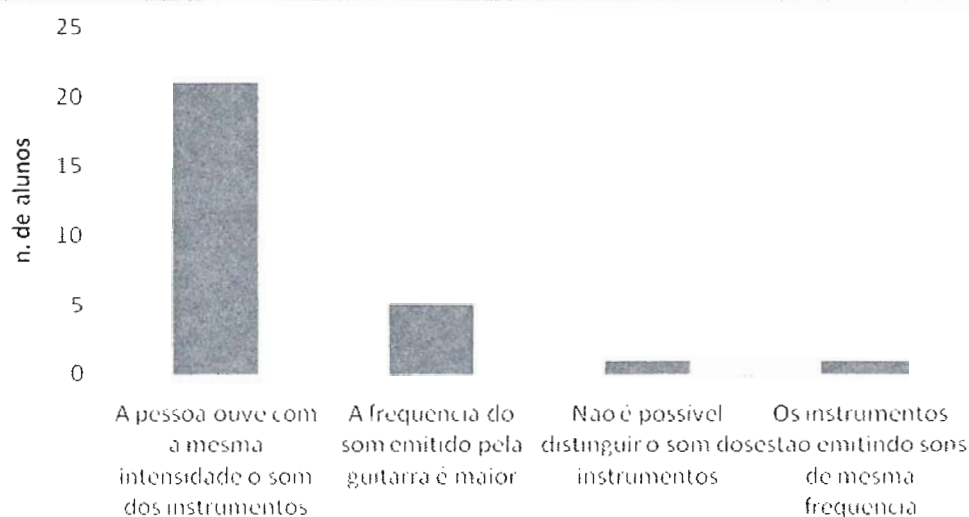
Gráf. 9 representação do número de alunos pelos eventos da questão 3 do questionário diagnóstico

- Os estudantes relacionaram a velocidade de propagação com a ação na corda e não como propriedade do meio.

Muitos mencionaram desconhecer a relação de Taylor  $v = (T/\mu)^{1/2}$

4 Uma guitarra e um violão são tocados executando sons de mesma altura, simultaneamente. Para um ouvinte à mesma distancia dos instrumentos é correto afirmar que:

a) A pessoa ouve com a mesma intensidade o som dos instrumentos	21
b) A freqüência do som emitido pela guitarra é maior	5
c) Não é possível distinguir o som dos instrumentos	1
d) Os instrumentos estão emitindo sons de mesma freqüência (nota musical)	1



Gráf. 10 representação do número de alunos pelos eventos da questão 4 do questionário diagnóstico

- Os estudantes não souberam fazer a distinção entre os aspectos fisiológicos Altura e Intensidade. Esta questão apresentou total desinformação por parte dos estudantes.

5 Sempre que um sistema vibra com frequência igual à frequência da fonte excitadora ocorre o fenômeno de Ressonância. Quando um sistema oscilante entra em ressonância este recebe a maior quantidade de energia da fonte e o sistema acaba por oscilar com amplitude máxima.

Em 1940 a ponte de Tacoma, nos EUA, caiu quando uma ventania a atingiu lhe imprimindo impulsos periódicos.

No Violão este fenômeno é observado quando você:

a) Estica a corda até que ela arrebente	15
b) Toca duas ou mais cordas ao mesmo tempo	10
c) Apenas toca em qualquer corda	3
d) Toca em qualquer corda na metade do comprimento	1



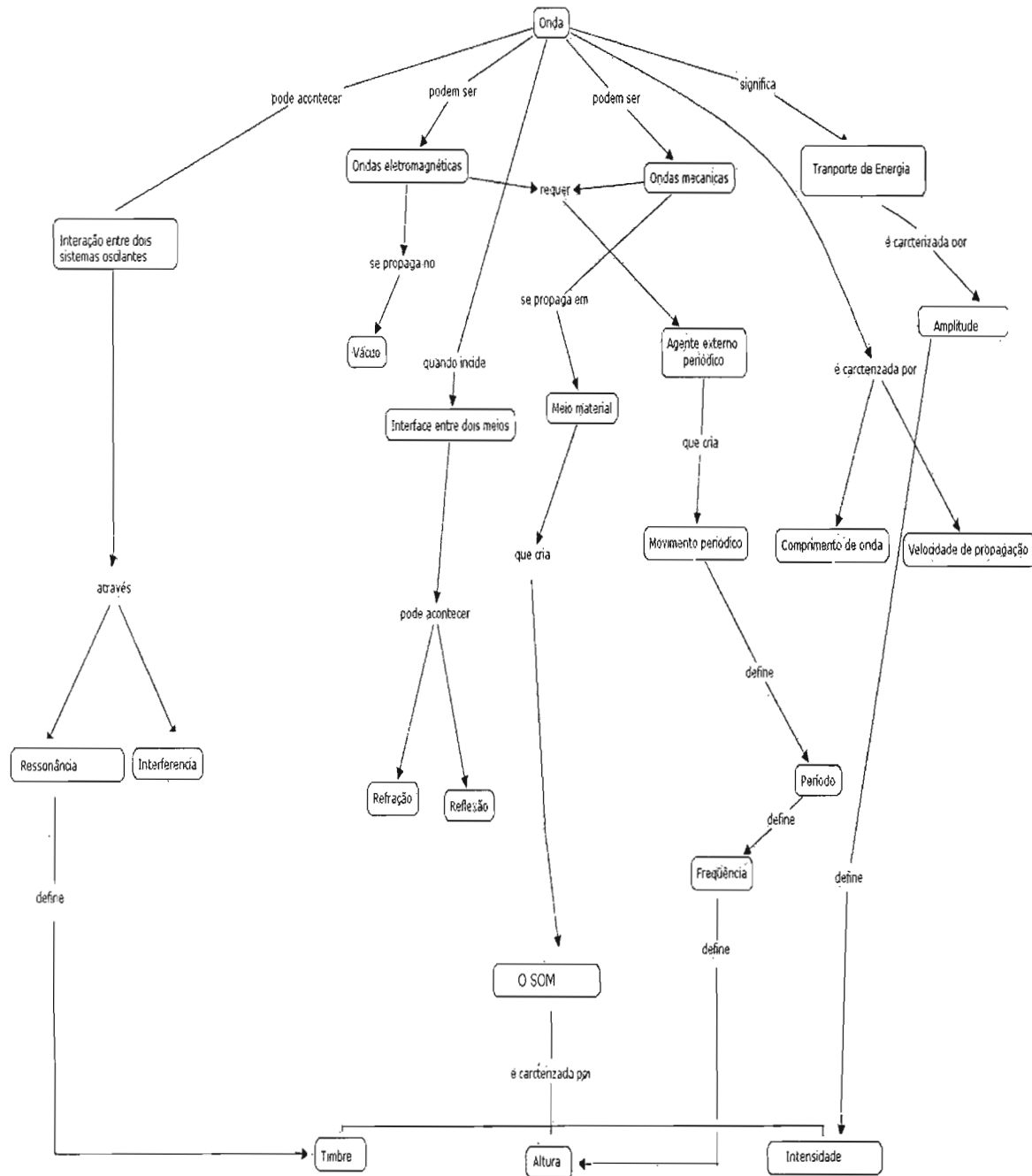
Gráf. 11 representação do número de alunos pelos eventos da questão 5 do questionário diagnóstico

- O fenômeno da ressonância é pouco abordado na literatura do Ensino Médio. Os estudantes buscaram as informações no enunciado da própria questão, e alguns foram induzidos à idéia de que o fenômeno de ressonância se aplica a destruição.



## 5. Mapa conceitual sobre ondas

A estrutura conceitual do mapa mostra as características gerais pertinentes a qualquer tipo de onda e os vínculos entre a percepção do som e as propriedades da propagação de uma onda sonora.



## 6. Ondas

Onda é uma perturbação num meio elástico, ou de um campo elétrico oscilante que se propaga transferindo energia entre dois pontos.

Durante a propagação ondulatória não há arraste de partículas do meio.

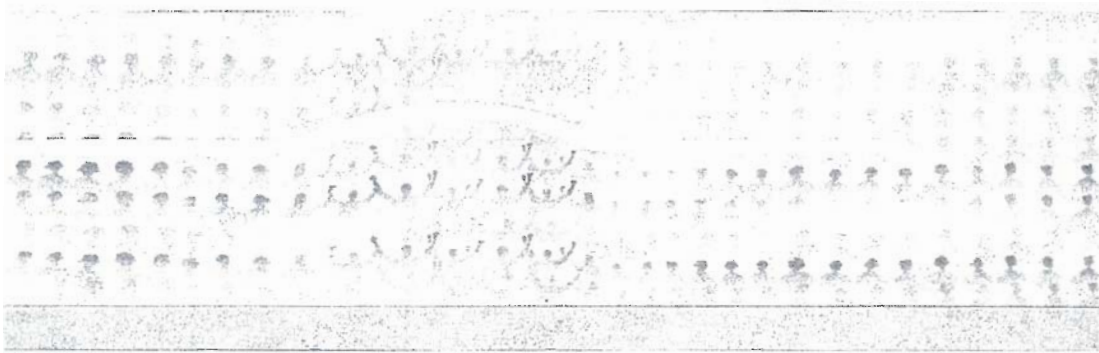


Fig. 1 Propagação de uma OLA, onde as pessoas sobem e descem sem sair de suas posições (fonte Alberto Gaspar)

### 6.1 Tipos de onda

Ondas transversais – A direção de propagação é perpendicular à direção de vibração.

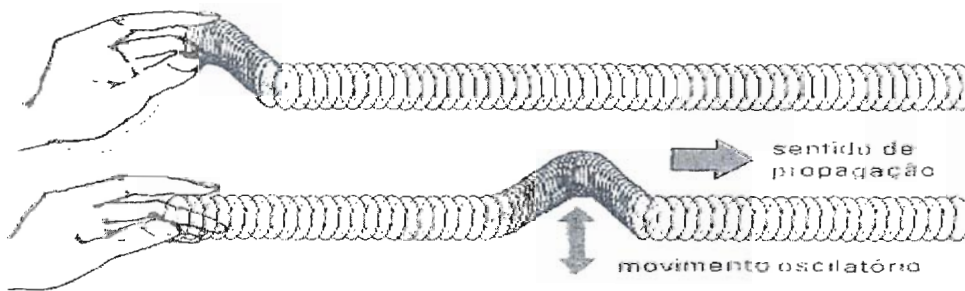


Fig.2 Onda transversal (fonte Alberto Gaspar)

Ondas longitudinais – As direções de propagação e vibração são coincidentes.



Fig. 3 Onda longitudinal em uma mola(fonte Alberto Gaspar)

## 6.2 Natureza das ondas

Ondas mecânicas – São originadas pela deformação de uma região do meio elástico. Neste tipo de onda o que vibra são as porções de matéria. As ondas mecânicas não podem existir no vácuo.

Ex: Ondas no mar, ondas sonoras.



Fig. 4 Representação da propagação da onda sonora, no ar, produzida pela fala.

Ondas eletromagnéticas – São originadas pela aceleração de cargas elétricas, gerando campos elétricos e magnéticos oscilantes que se propagam pelo espaço e não necessitam de um meio material para se propagar. Os campos elétricos e magnéticos são perpendiculares à direção de propagação, assim as ondas eletromagnéticas são sempre transversais.

Ex: Ondas de rádio, raios x, luz

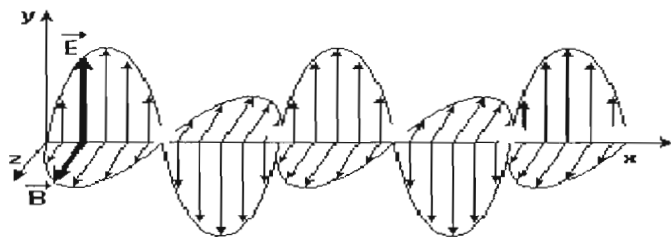


Fig. 5 esquema representando a propagação dos campos elétricos e magnético pelo espaço

### 6.3 Elementos de uma onda

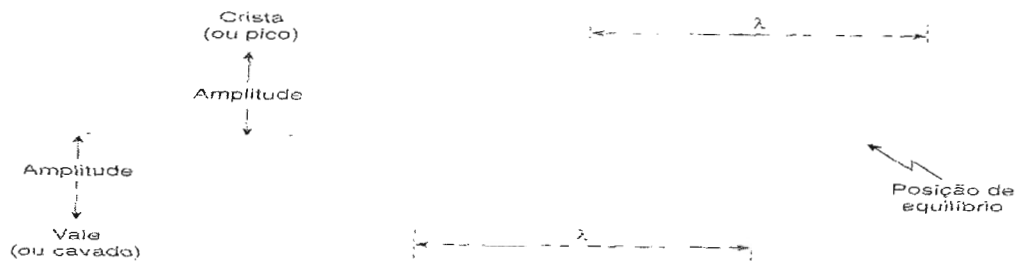


Fig. 6 Onda transversal e os elementos de onda

Amplitude (A) – Distância de uma crista/vale até o ponto de equilíbrio.

Crista – Ponto de máxima amplitude.

Vale – Ponto de amplitude mínima.

Comprimento de onda ( $\lambda$ ) – Menor distância entre dois pontos que vibram dentro de uma oscilação completa.

Período (T) – Intervalo de tempo necessário para que a oscilação se complete.

Frequência (f) – Corresponde ao número de ondas geradas num certo intervalo de tempo.

$$f = \frac{n}{\Delta t}.$$

Esta relação mostra que quanto menor o intervalo de tempo gasto para produzir as ondas, maior a frequência. Assim, as relações são inversas. Fazendo o intervalo de tempo igual ao período:

$$\Delta t = T \rightarrow f = \frac{1}{T}$$

**6.4 Velocidade de propagação** – A velocidade de propagação de uma onda diz respeito à rapidez com que uma perturbação, pulso, leva para atingir dois pontos separados por uma distância  $\Delta d$ , dentro de um intervalo de tempo  $\Delta t$ .

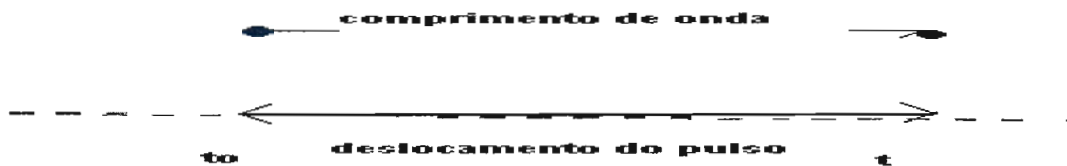


Fig.7 Mostra o deslocamento do pulso para um intervalo de tempo igual ao período

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = v$$

$$\Delta t = (t - t_0) = T \rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \text{ ou } v = \lambda \cdot f$$

A velocidade de uma onda é uma característica intrínseca do meio, ou seja, mantidas as características físicas do meio de propagação, sua velocidade se mantém constante.

## 7. Fenômenos ondulatórios

São os fenômenos físicos comuns a qualquer tipo de onda, independente de sua geração por uma carga elétrica acelerada, uma pedra lançada na superfície de um lago ou num movimento tectônico.

### 7.1 Reflexão

A reflexão ocorre quando uma onda atinge uma superfície de separação entre dois meios, e a onda retorna ao meio de origem.

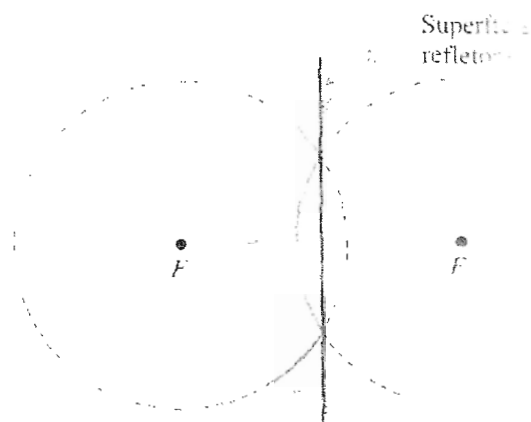


Fig. 8 Reflexão de uma onda plana na superfície de um lago.

Valem as observações que a onda incidente e refletida se propagam no mesmo meio, possuindo a mesma velocidade, a frequência da onda incidente e refletida

Para ilustrar as leis da reflexão introduzem-se os conceitos de frente de onda e reta normal. Princípio criado por Christian Huygens .

Frente de onda é uma linha ou superfície formada pelo conjunto de pontos que ocupam a mesma posição durante a oscilação.

A reta normal é uma linha imaginária perpendicular a superfície de separação entre dois meios, definindo os ângulos de incidência e reflexão.

Princípio de Huygens – Cada ponto de uma frente de onda se comporta como uma nova fonte de ondas elementares e progressivas.

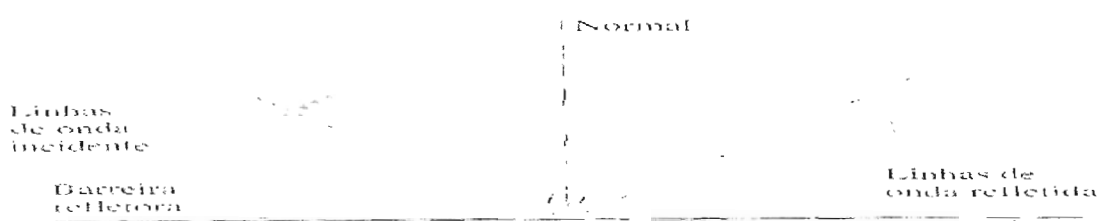


Fig. 9 Reflexão de frentes de onda provocada pela barreira refletora e ângulos em relação à normal.

Lei da reflexão – pode se demonstrar pelo princípio de Huygens que o ângulo de incidência ( $i$ ) é igual ao ângulo de reflexão( $r$ ).

No caso específico de uma propagação de um pulso numa corda, a energia potencial elástica se propaga, graças às propriedades elásticas do meio. Ao se

deparar com uma barreira o pulso é obrigado retornar pela corda, conservando sua energia, pois esta não é transmitida à barreira.

Em função da rigidez na fixação da corda à barreira, o pulso pode sofrer dois tipos de reflexão:

a) Sem inversão – Quando a extremidade é livre.

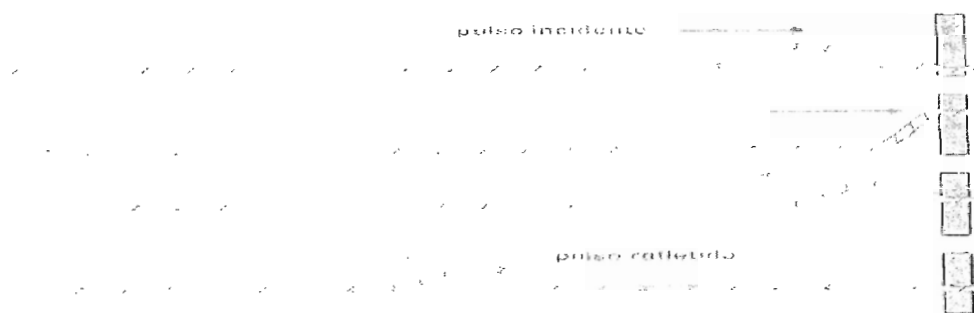


Fig. 10 Reflexão de um pulso numa corda sem inversão de fase.

b) Com inversão – Quando a extremidade é fixa, o pulso é impedido de avançar, e pela lei da ação e reação, recebe uma força no sentido contrário ao movimento e retorna invertido, defasado de  $\pi$  radianos, em relação à propagação primitiva.



Fig. 11 Reflexão de um pulso numa corda com inversão de fase.

## 7.2 Refração

É o fenômeno que ocorre quando uma onda é transmitida de um meio para outro de características diferentes.

Quando uma onda passa a se propagar num meio diferente ocorre mudança de velocidade.

### *Análogo mecânico para refração*

Considere um eixo que contenha duas rodas, uma em cada extremidade, rolando obliquamente sobre uma superfície lisa. Se este conjunto passa a se deslocar numa superfície mais abrasiva, a roda que toca a superfície primeiro tem a sua velocidade reduzida, enquanto a outra mantém a sua velocidade até entrar em contato com esta superfície. Com a diferença de velocidade entre as rodas, a trajetória de translação do conjunto sofre um desvio, como mostra a figura 12.

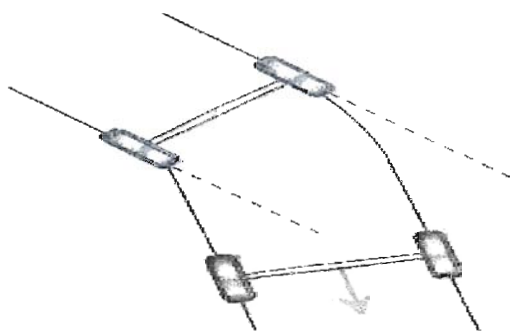


Fig. 12 Análogo mecânico da refração com o desvio da trajetória relativo à mudança no meio de propagação

Vale a observação, que no caso de uma incidência normal ao plano da superfície a trajetória não é alterada, ainda que sua velocidade sofra variação.

Lei de refração mostra a relação entre os ângulos de incidência, refração e as velocidades em cada meio.

$$\left[ \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \right] \text{ Ou em função dos comprimentos de onda } \left[ \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right]$$



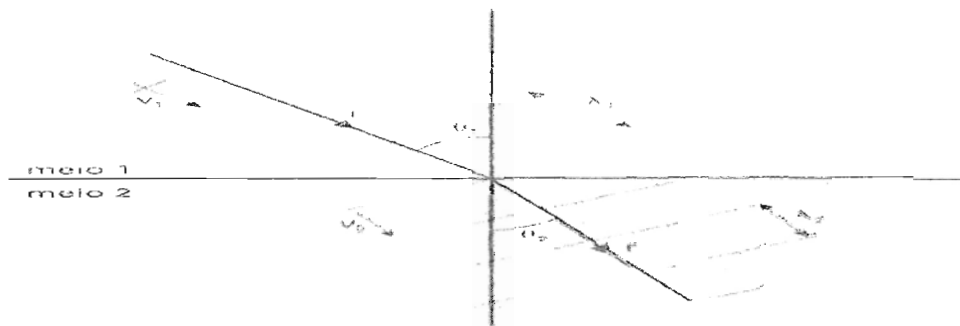


Fig. 13 Refração de frentes de onda na transmissão do meio 1 para o meio 2.

## 7.4 Interferência

Quando dois pulsos se propagam num mesmo meio com sentidos de propagação opostos, haverá um ponto de interseção entre os pulsos. A ordenada obtida no cruzamento corresponde à soma algébrica de cada ordenada, e após o cruzamento, os pulsos preservam suas características (Princípio da superposição).

Interferência construtiva -- Quando a amplitude do pulso corresponde à soma algébrica de cada pulso no ponto de interação.

Ex. Interações crista com crista ou vale com vale.

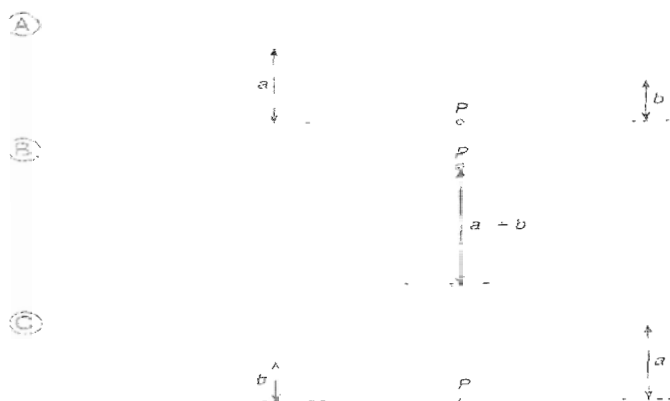


Fig. 14 Interação construtiva de duas ondas de amplitudes  $a$  e  $b$  no ponto  $P$ .

Interferência destrutiva – Quando a amplitude do pulso corresponde à diferença de cada pulso no ponto de interação.

Ex. Interações crista com vale ou vale com crista.

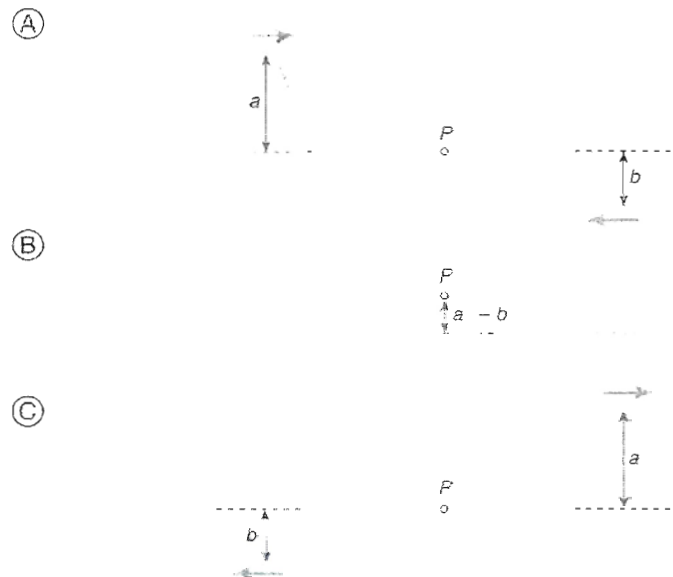


Fig.15 Interação destrutiva de duas ondas de amplitudes  $a$  e  $b$  no ponto  $P$ .

## 7.5 Ondas estacionárias

Movimentando a extremidade de uma corda fixa e esticada, o pulso irá se propagar até ser refletido, retornando pelo mesmo caminho. Mas, se o movimento se perpetua com uma frequência constante, ondas incidentes e refletidas interferem-se gerando uma *onda estacionária*.

Os pontos de interferência destrutiva, chamados *nós*, não vibram, e os pontos de interferência construtiva vibram com amplitude máxima, chamados, *antinós*.

As ondas estacionárias, em uma determinada corda podem se formar em diferentes frequências. A frequência mais baixa é denominada *fundamental*.

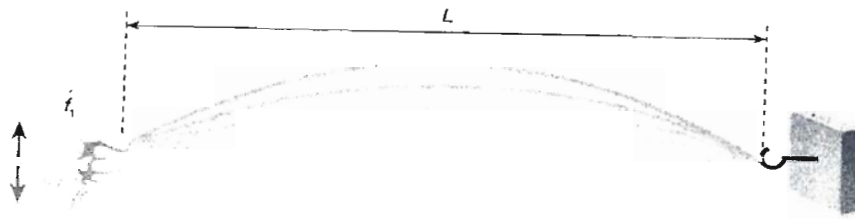


Fig. 16 Configuração do modo fundamental de vibração de uma corda.

Que representa o modo mais simples de vibração de uma corda, ou seu primeiro harmônico, cuja frequência fundamental é  $n=1$ .

Quando se aumenta a frequência para  $2f$ , onde  $n=2$ :

Encontramos o segundo modo de vibração ou segundo harmônico

$$f_2 = 2 \cdot f_1$$



Fig. 17 Configuração do segundo modo de vibração de uma corda.

Para uma vibração com  $3f$ :

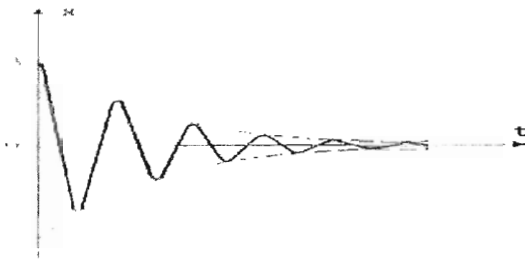
$$f_3 = 3 \cdot f_1$$



Fig. 18 Configuração do terceiro modo de vibração da corda.

## 7.6 Ressonância

Todo o sistema que oscila perde a energia do movimento, por alguma forma de atrito. Ainda que não altere a sua frequência, sua amplitude diminui gradativamente, fazendo o sistema convergir até o ponto de equilíbrio.

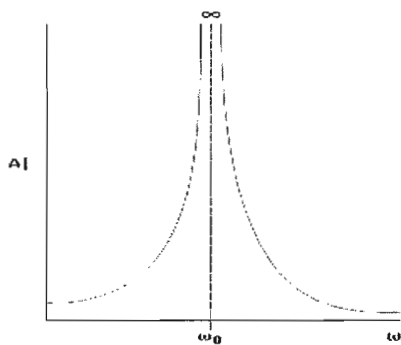


graf. Mostra a amplitude de oscilação em função do tempo.

Quando se deseja superar o efeito de amortecimento, deve-se compensar a perda de energia de oscilação com um reforço de energia periódica de uma fonte externa, passando o sistema a apresentar uma *oscilação forçada*, para que o sistema se mantenha em movimento.

Na maioria dos casos, a frequência das oscilações periódicas externas difere da frequência natural do sistema, que é função de suas propriedades inercial (massa) e elástica (força restauradora). Quando o sistema recebe energia periódica com a frequência igual à frequência natural do sistema, essa energia é transferida ao sistema que passa a oscilar com amplitudes cada vez maiores, pois nesta circunstância o sistema recebe a maior porção de energia da fonte, ocorrendo o fenômeno da ressonância.

Na *ressonância ocorre* a máxima transferência de energia da fonte externa para o sistema oscilante.



Graf. Mostra a relação entre as freqüências natural ( $w_0$ ) e a freqüência da fonte( $w$ ) com a amplitude de oscilação do sistema.

Todo o sistema físico possui, sua freqüência natural, e a ressonância é um fenômeno importante numa grande variedade de ocorrências. Para uma corda vibrante, fixas em seus extremos, a expressão que define as freqüências ressonantes é dada por:  $f_n = n \frac{v}{2L}$ , onde  $n$  é um número inteiro, mostra que numa corda vibrante, existem várias freqüências ressonantes, que são função explicita do comprimento útil " $L$ " da corda vibrante.

Um esquema experimental de fácil construção e de grande impacto sobre os estudantes é o dos pêndulos com diferentes comprimentos. A energia de um excitador ( esfera de metal ) flui sem reatância apenas para o pêndulo de mesmo comprimento " $L$ ". Tanto os pêndulos mais próximos como os mais distantes da fonte não oscilam.

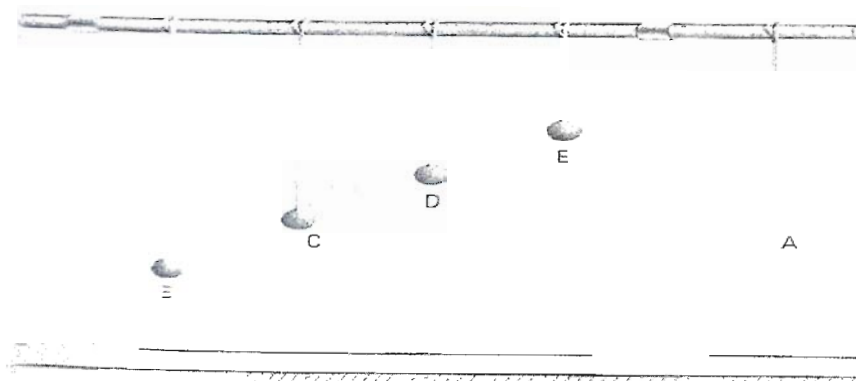


Fig19 Interação ressonante entre os pêndulos A e C de mesmo comprimento.

## 8. Som

As ondas sonoras têm origem mecânica, pois são produzidas por deformações num meio elástico, que criam zonas de compressão e rarefação gerando uma onda de pressão que, viaja através do ar e cria a sensação sonora no ouvido humano.

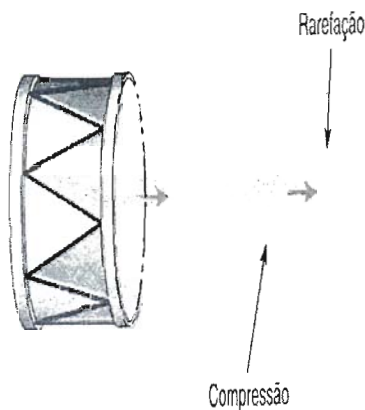


Fig.20 Diagrama que mostra a propagação do som no ar e as zonas de compressão e rarefação.

### 8.1 Produção sonora

O som é produzido quando algum mecanismo altera a pressão do meio. Vale a observação que para a produção sonora é mais importante a velocidade com que a pressão varia do que a magnitude da variação da pressão.

Os fenômenos sonoros estão relacionados com a vibração de corpos materiais e a propriedade elástica do meio em que se propaga a onda.

### 8.2 Fontes sonoras

Qualquer aparato que se ponha a vibrar num meio material é uma fonte sonora. Uma régua plástica, instrumentos musicais e o aparelho fonador são exemplos de fontes.

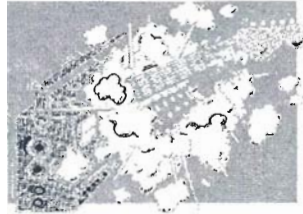


Fig. 21 exemplos de fontes sonoras: sino e guitarra elétrica.

### 8.3 Velocidade do som

Uma generalização da velocidade do som a temperatura e pressão constantes é dada por:

$$v_{som} = \sqrt{\frac{\text{propriedade vinculada a elasticidade}}{\text{propriedade vinculada à inércia}}}$$

$$v_{som} = \sqrt{\frac{E}{\mu}}, \text{ E é o módulo de elasticidade (sólidos) ou compressibilidade (flúidos)}$$

$$\mu = \frac{m}{v}, \text{ massa específica}$$

Meio à temperatura (20° C)	Velocidade de propagação(m/s)
Ar	340
Água	1450
Ferro	5100
Granito	6000

Tabela. dados da velocidade do som à temperatura constante em função do meio de propagação.

A partir da tabela pode se concluir que:

$$v_{sólidos} > v_{líquido} > v_{gases}$$

## 8.4 Propriedades fisiológicas

A percepção de uma onda sonora pelo ouvido humano depende basicamente de dos fatores : freqüência, Intensidade sonora e timbre.

### 8.4.1 Intensidade sonora

O ouvido humano é capaz de detectar sons na faixa de 20hz a 20 000hz. No entanto, não basta que a onda sonora esteja compreendida nesta faixa de freqüência, é necessário, ainda, que a onda sonora transporte uma energia mínima que possa produzir vibrações no tímpano. Para que o som seja perceptível aos ouvidos humanos ele deve possuir a intensidade mínima da ordem  $I_{\min.} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ . Sons com intensidades superiores a  $1 \text{ W/m}^2$  causam desconforto e pode estabelecer, de um modo geral, um limite máximo tolerável de audição.

A relação entre as intensidades mínima e máxima é exponencial e não linear. O coeficiente denominando nível de intensidade **N** é uma grandeza utilizada para avaliar a intensidade na faixa audível para o ser humano, sendo utilizada a unidade Bel(B).

$$10^N = \frac{I}{I_{\min.}} \quad \text{ou} \quad N = \log \frac{I}{I_{\min.}} \text{ Bel}$$

$$\text{onde: } I_{\min.} = 1.10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Na prática observa-se que a unidade Bel ainda é muito grande, onde se torna adequado o uso do decibel dB, Assim a equação a cima do nível sonoro se torna:

$$N = 10. \log \frac{I}{I_{\min.}} \text{ dB}$$



Fig.22 Níveis de intensidade sonora típicos de determinados ambientes em unidades de decibel.



Na execução de um instrumento de cordas não amplificado, por exemplo, quando se deseja aumentar a intensidade da onda sonora produzida pelo instrumento, a corda deve ser tocada com mais energia (vigor), ficando na distensão, mais afastada em relação à posição de equilíbrio, produzindo uma onda sonora de maior amplitude, o que acarreta num som de maior intensidade (forte).

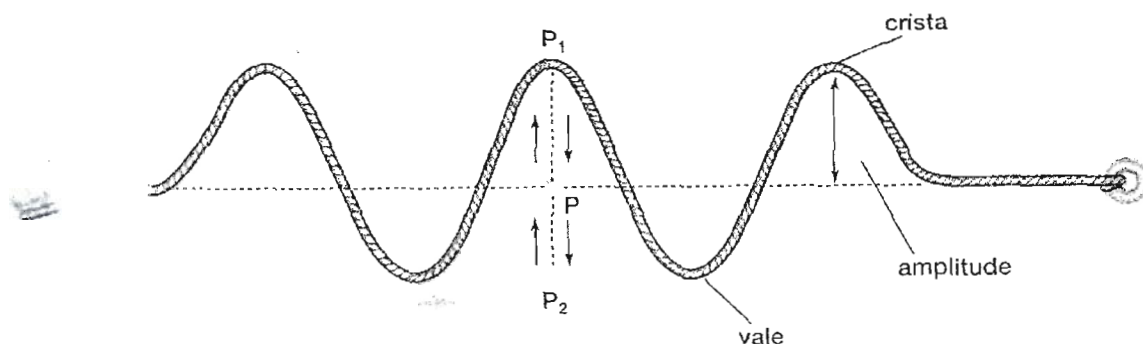


Fig. 23 Representação da amplitude da onda em função do aumento do vigor com que é gerado o pulso.

#### 8.4.2 Altura

Em linguagem musical, a altura é a qualidade do som que distingue os sons graves dos sons agudos. A percepção auditiva nos permite diferenciar a fala de um homem e de uma mulher, por exemplo. Usualmente, costuma-se associar erradamente a **altura** com a **intensidade**. A altura de um som é a característica que corresponde à frequência da onda sonora, cuja unidade é o Hertz(Hz). Um som de baixa frequência é um som grave, e de alta frequência agudo.

Uma nota musical é caracterizada pela sua frequência. Assim cada nota musical corresponde à emissão de um som com uma frequência própria.

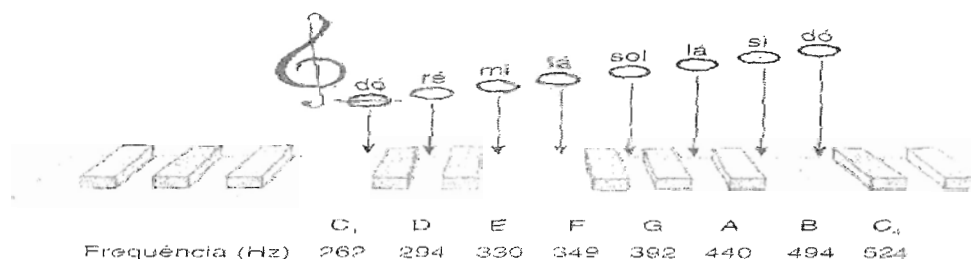


Fig. 24Relação entre as notas musicais e as respectivas frequências das ondas sonoras.

Quando os músicos usam o termo escala ascendente, tecnicamente falando, estarão percorrendo notas musicais de freqüências mais baixas no sentido das notas de freqüências mais altas.

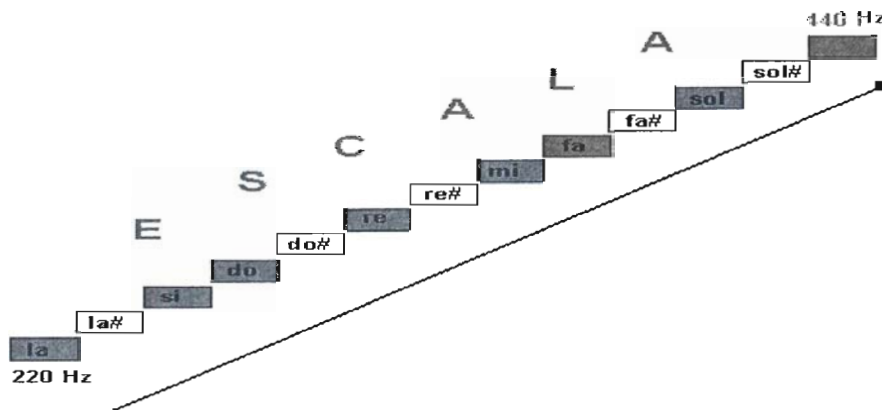


Fig.25 Ascendência na progressão de uma escala musical e o correspondente aumento de freqüências da onda sonora.

### 8.4.3 Timbre

O timbre está associado com os harmônicos e a ressonância. O timbre é a qualidade fisiológica do som, quanto à nitidez, que possibilitará distinguir sua origem.

Por exemplo, considerando a corda de qualquer instrumento musical, a vibração produzida pela fonte é transmitida para toda estrutura do instrumento. Assim, quando vibra a corda, todo o instrumento vibra solidariamente, gerando diversos tipos de ondas que interferem aleatoriamente e se extinguem. Entretanto, as ondas de freqüências ressonantes, múltiplas da freqüência natural, persistem e dará a onda resultante o padrão sonoro que caracteriza cada instrumento.

A freqüência mais baixa, que modula a onda, é chamada de fundamental. As demais freqüências são os sobretons.

Produzindo-se freqüências iguais – Tom – em instrumentos distintos, além do modo fundamental estarão presentes muitos harmônicos com maior ou menor intensidade obtendo um padrão sonoro. Isto garante a “assinatura” do instrumento.

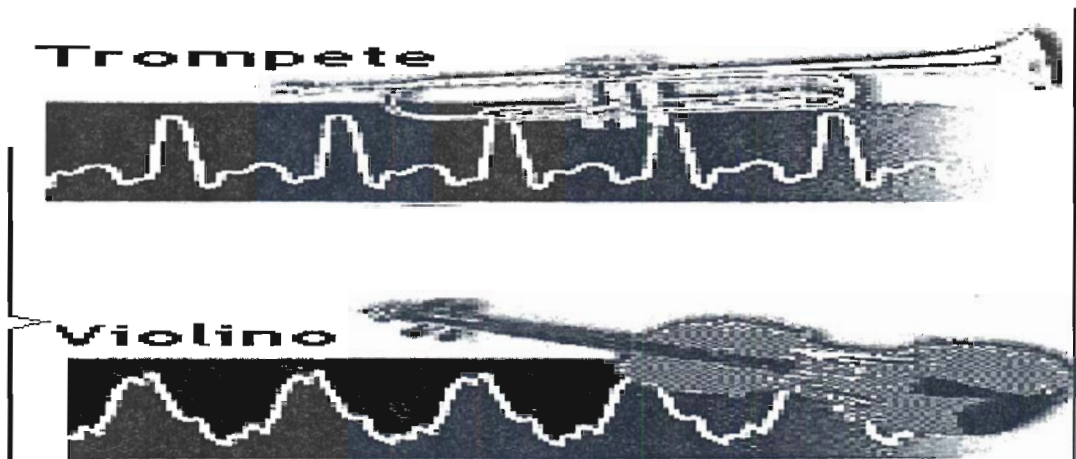


Fig. 26 Comparação de uma mesma frequência musical- nota- executada em instrumentos de construções diferentes

## 9. Música

A vibração de uma fonte sonora consiste na produção de certa frequência. Mas, além da frequência estar ajustada dentro do intervalo audível, esta pode apresentar um padrão de frequências variadas e irregulares, o que gera uma sensação desagradável, a qual chamamos de *ruído*. Então, o som musical é um fenômeno físico que apresenta um padrão de vibrações periódicas que guardam entre si certa proporção numérica bem definido.

No vocabulário dos músicos as expressões sustenido (#), tom maior, tom menor e oitava são amplamente empregados. Mas, do ponto de vista físico, a que estas expressões se referem?

Se considerarmos dois sons emitidos com frequências  $f_0$  e  $f$ , onde  $f > f_0$ , definimos intervalo (i) entre  $f$  e  $f_0$ , a relação:

$$i = \frac{f}{f_0}$$

Como exemplo, toma-se uma nota musical de freqüência  $f=440\text{hz}$  e outra cuja freqüência é de  $880\text{hz}$ . Logo, o intervalo compreendido entre as duas notas é  $i=2$ .

$$i = \frac{880}{440} = 2$$

A conclusão a que se pode chegar é de que  $f = 2f_0$ . Como a escala musical possui 7 notas musicais,  $f$  seria a freqüência da oitava nota superior. Para os músicos, uma oitava a cima.

Um segundo exemplo:

Tomando-se um som cuja freqüência é de  $460\text{hz}$ , temos, em relação à fundamental de  $440\text{hz}$ :

$$i = \frac{460}{440} \cong \frac{24}{23} \Rightarrow f \cong \frac{24}{23} f_0$$

E para  $f=534\text{hz}$ , temos, em relação à fundamental de  $512\text{hz}$ :

$$i = \frac{534}{512} \cong \frac{24}{23} \Rightarrow f = \frac{24}{23} f_0$$

Onde podemos concluir que o valor numérico  $(24/23)$  é um padrão, ou seja, um intervalo musical (#)

Intervalo	Padrão numérico (i)
Uníssonos	1
Sustenido (#)	24/23
Semi tom	16/15
Intervalo menor	10/9
Intervalo maior	9/8
Oitava	2

## 9.1 Escalas Musicais

A palavra escala diz respeito a uma escada, na denotação. Num prisma musical escala é uma seqüência de sons que guardam entre si intervalos bem definidos numa ordem ascendente ou descendente. A maioria das composições é baseada em escalas musicais. Por exemplo, a escala de Dó Maior:

Nota	Construção	Intervalo com a nota base	Intervalo com a nota anterior	Frequência/Hz
Dó	Nota base $f$	(unísono)	-	264
Ré	5ª de Sol, descida de uma oitava $3/2 \times 3/2 \times f \times 1/2$	9/8 (tom natural ou 2ª Maior natural)	9/8	297
Mi	3ª de Dó $5/4 \times f$	5/4 (3ª Maior natural)	10/9	330
Fá	4ª de Dó $4/3 \times f$	4/3 (4ª perfeita)	16/15	352
Sol	5ª de Dó $3/2 \times f$	3/2 (5ª perfeita)	9/8	396
Lá	3ª de Fá $5/4 \times 4/3 \times f$	5/3 (6ª Maior natural)	10/9	440
Si	3ª de Sol $5/4 \times 3/2 \times f$	15/8 (7ª Maior natural)	9/8	495
Dó	8ª de Dó $2 \times f$	2 (8ª perfeita)	16/15	528

Pela relação:

$$f = \frac{n}{ld} \sqrt{\frac{T}{\rho\pi}}, \text{ onde:}$$

- (f) é a frequência,
- (n) o numero de modos de vibração,
- (T) a tensão na corda,
- (d) o diâmetro da seção transversal da corda
- (l) o comprimento da corda,
- (ρ) a densidade linear da corda

Percebe-se que o intervalo de uma oitava é obtido reduzindo o comprimento da corda (l) a metade.

## 10. Instrumentos de corda

Os instrumentos de corda ocupam uma parte muito especial na música por muito tempo. Executados através de um arco, como o violino, dedilhados, como o violão, formam a espinha dorsal de uma orquestra ou mesmo de uma banda de rock.

### 10.1 A Guitarra como instrumento *vibratório*

Quando uma corda de um instrumento musical é dedilhada, a vibração resultante pode ser considerada como uma combinação dos modos normais de vibração. As cordas dedilhadas irradiam para o meio circundante somente uma pequena quantidade de energia sonora, mas esta excita a ponte e o tampo superior do corpo de um violão que transmite energia vibracional para a cavidade de ar e para o tampo inferior. O som que ouvimos é irradiado eficientemente pela vibração conjugada dos tampos e da cavidade de ar.

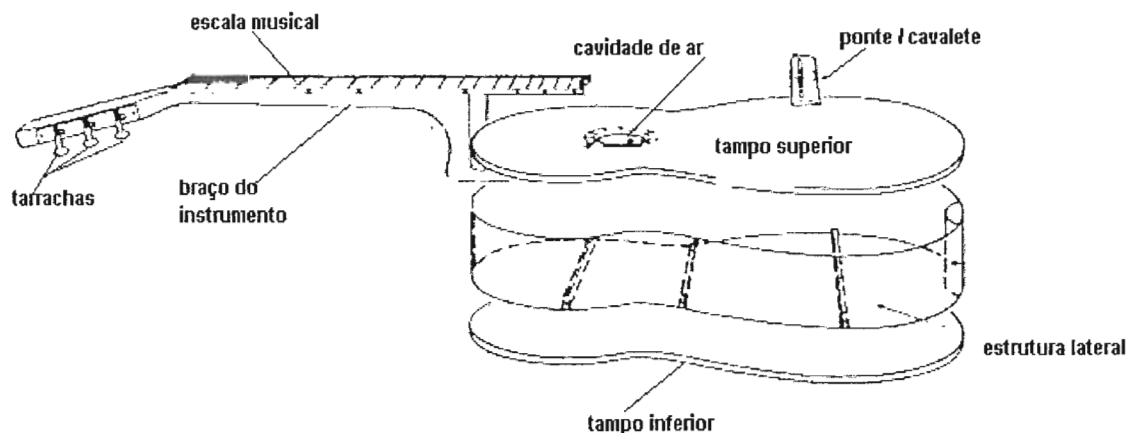


Fig. 27 Componentes estruturais de um violão.

## 10.2 Esquema da Ressonância num violão

Nas frequências baixas o tampo superior do corpo do instrumento transmite energia para o tampo inferior e para a cavidade. A ponte atua como parte vibratória do tampo superior.

Nas frequências altas, entretanto, a maior parte do som é irradiado pelo tampo superior e da possibilidade vibratória da ponte.

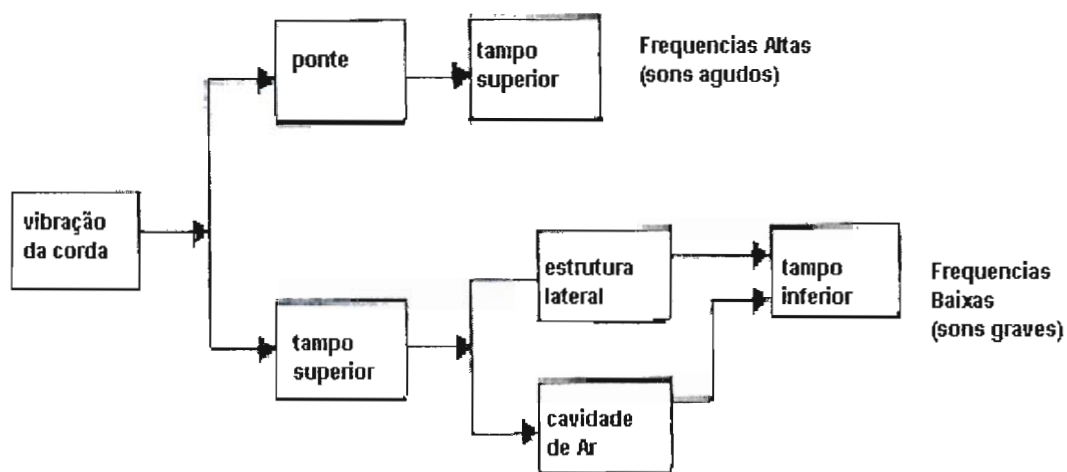


Fig.28 Esquema de ressonância de altas e baixas frequências na estrutura de um violão.

## 10.3 A captação do som num baixo elétrico (instrumentos amplificados)

Embora seja possível fixar um microfone no corpo de um instrumento, um baixo elétrico usa captadores de vibração magnéticos, onde a vibração da corda de aço induz sinais elétricos.

O baixo elétrico tem o corpo maciço de madeira, ou seja, não há coluna de ar para haver ressonância. A vibração do corpo tem influência mínima no tom quando comparado com um instrumento acústico. A solução neste caso é o uso do captador eletromagnético.

O captador eletromagnético consiste de uma membrana, de uma bobina com um núcleo magnético fixo. A movimentação da corda de aço causa vibração da membrana e conseqüentemente na bobina. A movimentação da bobina nas proximidades de um ímã faz surgir um sinal elétrico. A vibração induz uma variação temporal nos campos elétricos e magnéticos dos captadores os quais são convertidos em sinais elétricos, e em seguida amplificados eletricamente.

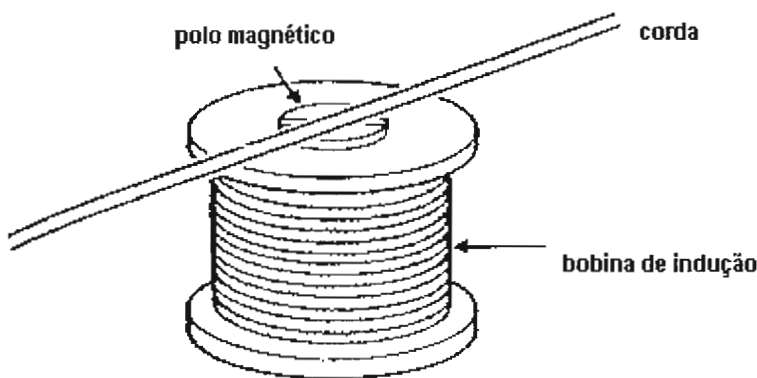


Fig. 29 Elementos da captação da vibração da corda e a geração do sinal elétrico.

Este fenômeno que parece mesmo mágica foi desenvolvido pelo cientista Inglês Michael Faraday (1791-1867), que se denomina *Indução eletromagnética*.

A grandeza fluxo magnético quantifica as linhas de indução do campo magnético que atravessa uma superfície, sendo a intensidade magnética definida matematicamente por:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

- Onde  $\theta$  é o ângulo entre as linhas de intensidade do campo magnético e o vetor normal à superfície.
- **B** representa a magnitude do campo magnético.
- **A** representa a área atravessada pelo fluxo magnético.



De acordo com a expressão a cima, existem três modos de variar o fluxo magnético:

- Variando o ângulo entre as linhas de indução do campo e a superfície.
- Variando a área da superfície
- Variando a intensidade do campo.

Sempre que ocorrer uma variação do fluxo magnético através de uma bobina, surge na bobina uma corrente elétrica induzida por esta variação de fluxo.

No caso explícito dos captadores, aplica-se o ultimo caso.

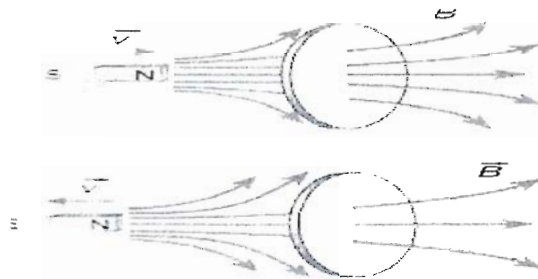


Fig. 30 Variação do fluxo magnético gerado pelo ímã através da superfície circular.

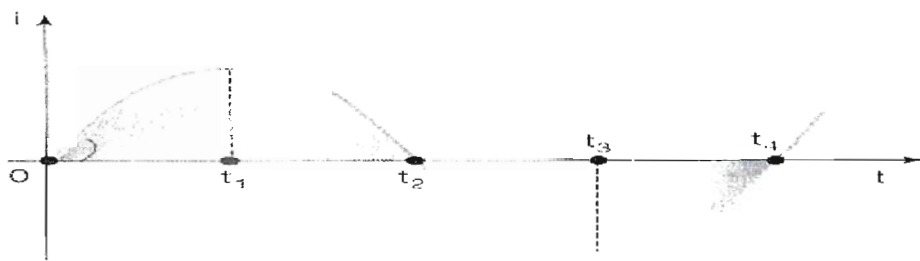


Gráfico mostra a relação entre a intensidade de corrente ( $i$ ) ao longo de quatro instantes de tempo.

Os captadores estão localizados em pontos diferentes da corda a fim de fortalecer os vários harmônicos. O captador posicionado mais próximo do braço do instrumento reforça a frequência fundamental, produzindo um som mais aveludado, e o mais próximo da ponte reforça os harmônicos superiores produzindo sons mais metalizados.

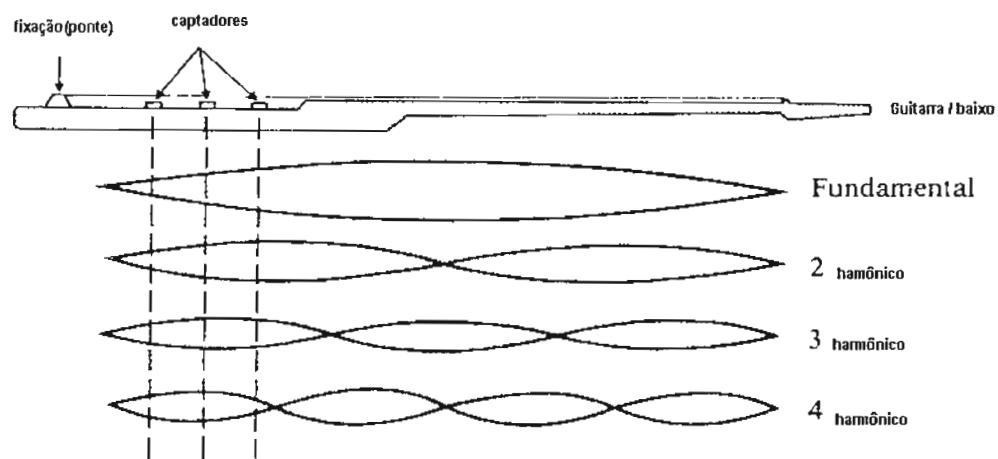


Fig.31 Diagrama com a posição dos captadores no corpo do instrumento e a relação com os modos de vibração da corda.

## 11. Questões propostas para pós teste.

- 1 Qual seria o inconveniente em assistir a um show de Rock no espaço sideral?
- 2 O que significa, fisicamente, afinar um instrumento musical?
- 3 Por que as cordas dos instrumentos musicais têm diâmetros diferentes?
- 4 Como os instrumentistas conseguem produzir notas musicais diferentes usando uma única corda?
5. Por que numa apresentação musical, apesar de todos os instrumentos tocarem simultaneamente, podemos distinguir o som de cada instrumento individualmente?
6. Quando afinadas, a frequência fundamental da corda Lá de um violino é de 440hz e a frequência da corda Mi de 660hz. Determinar a distância da extremidade que se deve posicionar o dedo do instrumentista para, com a corda Lá, tocar a nota Mi

### 11.1 Comentários das questões:

1 Ondas mecânicas não se propagam no vácuo, assim os efeitos visuais, ondas eletromagnéticas, seriam perfeitamente observáveis, porém estaria sendo privado o elemento mais importante, O SOM!!!

2 Tensionar a corda do instrumento de forma que esta vibre com uma frequência determinada.

3 Para permitir que o instrumentista construa frequências iguais (nota musical), utilizando cordas diferentes, através do comprimento útil da corda.

Algebricamente:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \quad (1), \text{ expressão da velocidade de onda numa corda esticada.}$$

onde T é a tensão na corda e  $\mu$  a densidade linear da corda.

e  $\mu = \frac{m}{l}$ , massa pelo comprimento da corda.

e ainda,  $m = \rho \cdot v$

vem,  $\mu = \frac{\rho \cdot v}{l}$  assim  $\mu = \rho \cdot A$

O termo A é a área da seção transversal da corda.

$$A = \frac{\pi d^2}{4}, \quad d \text{ o diâmetro transversal}$$

$$\text{daí, } \mu = \rho \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\text{de (1) } v = \sqrt{\frac{4T}{\rho \pi d^2}} \Rightarrow v = \frac{2}{d} \sqrt{\frac{T}{\rho \pi}}$$

E ainda, pelos modos de vibração :

$$f = n \frac{v}{2l} \Rightarrow v = \frac{2lf}{n}, \text{ } n \text{ o número de modos}$$

$$\frac{2lf}{n} = \frac{2}{d} \sqrt{\frac{T}{\rho\pi}}$$

$$f = \frac{n}{ld} \sqrt{\frac{T}{\rho\pi}}$$

O termo T faz referência à propriedade elástica da corda, e o termo  $\rho$  à propriedade inercial da corda. Contudo como referencia a uma mesma corda, estes parâmetros são constantes, assim comprova-se que para uma corda tracionada pelos extremos sua freqüência é função do diâmetro da sua seção transversal e do comprimento da corda vibrante.

4 Pelo exposto no item anterior verificamos que variando o comprimento útil da corda produzimos diferentes freqüências. Cada tom musical corresponde a uma freqüência própria, e como as grandezas freqüência(f) e o comprimento útil(l) são inversamente proporcionais, diminuindo o comprimento útil da corda produzem-se tons mais agudos (mais altos). O processo inverso é obtido aumentando o comprimento(l) da corda.

5 Mesmo que cada instrumento emitisse com a mesma freqüência (tom musical), os instrumentos têm a sua “assinatura pessoal”, o Timbre.

Entende-se por timbre a qualidade fisiológica do som quanto a sua clareza ou nitidez que possibilita distinguir a origem da fonte.

Pelo princípio da superposição podemos ouvir notas tocadas pelos vários instrumentos em uma orquestra, por exemplo, mesmo que a onda sonora resultante seja bastante complexa, pois após cruzarem-se na mesma região do espaço as ondas emitidas por cada instrumento tem suas características inalteradas.

6. questão

$$l = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2l$$

$$f = 440 \text{ Hz}$$

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = 440 \cdot 2l \Rightarrow v = 880 \cdot l$$

$$f' = 660 \text{ Hz}$$

$$v = 660 \cdot 2l$$

$$v = 1320 \cdot l'$$

como a velocidade é função da tensão na corda e da sua densidade linear, e não da frequência, então  $v = \text{cte.}$

$$1320 \cdot l' = 880 \cdot l$$

$$l' = \frac{880}{1320} l = \frac{2}{3} l$$

## 12. Conclusões:

Neste trabalho, as estratégias de aula foram divididas em: i) Preparação para aula, ii) a aula em si e iii) a avaliação final, como mostra a tabela abaixo:

i) Preparação para aula	1) Questionário sobre motivação. 2) Questionário diagnóstico. 3) Mapa conceitual
ii) A aula em si	1)Quadro negro 2)Simuladores virtuais 3)Uso de instrumentos musicais
iii) A avaliação final	1)Questionário pós teste 2)Análise qualitativa do professor

As respostas do questionário sobre motivação preenchidos pelos estudantes no início do ano apontaram os seguintes fatores como motivadores:

- i. Participação ativa dos mesmos durante a aula.
- ii. Utilidade dos conceitos aprendidos na sala de aula.
- iii. Resolução de questões próprias do universo dos estudantes.
- iv. Questões que visam a preparação para exames classificatórios.

Estes dados mostram a expectativa dos estudantes quanto a aula de física, e o primeiro passo do professor para atingir os objetivos de ensino aprendizagem é considerar o fator *motivacional*.

O questionário diagnóstico contribuiu para conhecer o perfil conceitual da turma e orientar o planejamento das ações em sala de aula quanto às estratégias e a abordagem dos conteúdos.

O mapa conceitual, reconstruído a cada utilização, ajusta os conteúdos às turmas e tem grande valia.

A cada ano letivo novas demonstrações podem ser incluídas obedecendo a um processo de retro alimentação que considera as avaliações parciais e finais.

A estrutura apresentada pelo tema “ondas” desta monografia pode ser utilizada para os demais temas da física e ser tratado a cada ano letivo

#### Bibliografia:

##### Livros:

Alvarenga, Beatriz; Máximo, Antônio *Física volume único* Ed. Scipione 1998.

Gaspar, Alberto *Física vol.2* ed. Ática 2003

Gowin, Bob D. *Educating*. Ithaca: Cornell University Press, 1981. 210p.

Halliday, David; Resnick, Robert *Física vol.2* 3 edição ed. Livros técnicos e científicos 1983

Nussenzveig, H. Moisés *Curso de Física Básica vol.2* ed. Edgar Blucher 1981

Penteado, Paulo César M. *Física Conceitos e Aplicações vol.2* ed. Moderna 1998

Pietrocola, Maurício *Ensino de Física* ed. UFSC 2001

Rossing, Thomas D. *The Science of Sound* 2 edição ed. Addison-Wesley Publishing Company, inc 1990.

##### Publicações:

Bizzo, Nélio Marco Vincenzo; El-Hani, Charbel Niño *Formas de Construtivismo* , Atas do II Encontro de Pesquisa em Educação de Ciências São Paulo 1999.

Brasil, *Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio, SEM-MEC, Brasília* 1999.

Utges, Rita Graciela *Modelos e Analogias na Compreensão do Conceito de Onda*, tese de Doutorado, Universidade de São Paulo- Faculdade de Educação USP 1999.

Wuensche, Carlos Alexandre *A física da música* XIII simpósio Nacional de Ensino de Física Brasília 1999.