



UNICAMP

**Universidade Estadual de Campinas**  
IFGW – Instituto de Física Gleb Wataghin

**F 809 – Instrumentação para Ensino**

Coordenador: José Joaquim Lunazzi

**RELATÓRIO FINAL**

“Telefone sem fio: espelhos acústicos parabólicos”



Aluno: Humberto D. Bovolenta

R.A.: 016306

Orientador: Dirceu da Silva

Finalizado em 23/11/2005

## RESUMO

Este trabalho consiste em mostrar a recepção e transmissão de ondas sonoras através de espelhos acústicos parabólicos.

### 1. Introdução

Os espelhos parabólicos tornam-se cada vez mais comuns no nosso cotidiano. Existem diversas aplicações para esse tipo de espelho, desde refletores de luz em faróis de carros e telescópios, até refletores e receptores de ondas eletromagnéticas de diversas frequências, como nas transmissões de rádio e televisão.

A sua principal característica, e que utilizada nesse experimento, é que as ondas mecânicas ou eletromagnéticas que nela incidem, convergem para um único ponto chamado *foco*.

Na prática, só existem espelhos parabólicos côncavos, embora nada impeça que se construam espelhos parabólicos convexos.

#### 1.1. História dos Espelhos Parabólicos

O estudo da reflexão da luz por espelhos de diversas formas foi feito por filósofos e matemáticos da Grécia Antiga, principalmente o estudo relacionado com os espelhos que apresentam a propriedade de concentrar, em pontos determinados, raios luminosos paralelos incidentes, como ocorre com os espelhos esféricos e os parabolóides de revolução.

Consideramos Apolônio de Perga (c.261 – c.190) como o principal estudioso com relação às cônicas. Ele escreveu uma grandiosa e magnífica obra, considerada por muitos, como o ponto máximo da matemática grega. Constituído por oito livros, só os sete primeiros chegaram aos nossos dias. Destes, só os quatro primeiros existem em grego. Os

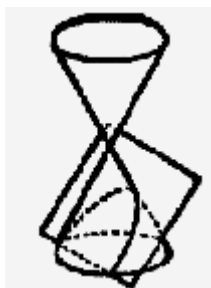
outros três existem em uma tradução árabe. Em 1710, Edmund Halley fez uma tradução latina dos oito livros, surgindo posteriormente traduções em outras línguas.

No prefácio geral da obra, Apolônio explica as razões que o levaram a escrevê-los:

*"... levei a cabo a investigação deste assunto a pedido de Neocrates o geômetra, quando ele veio a Alexandria e ficou comigo, e, quando tinha trabalhado os oito livros, dei-lhes de imediato, apressadamente, porque ele estava de partida; não foi possível portanto revê-los. Escrevi tudo conforme me ia ocorrendo, adiando a revisão até ao fim."<sup>(1)</sup>*

Para se avaliar a excelência desta obra refira-se que não se descobriram propriedades novas das cônicas até ao século XIX, altura em que as elipses, parábolas e hipérbolas começaram a ser estudadas na geometria projetiva.

Concentramos a teoria da parábola somente no Livro I, onde Apolônio começa mostrando que, de um único cone, podem ser obtidas as três espécies de secções cônicas bastando para tal fazer variar a inclinação do plano, conforme a figura abaixo:



**Figura 1.** Superfície cônica cortada por um plano, gerando uma parábola.

A parábola é a curva que se obtém ao cortar uma superfície cônica com um plano paralelo à sua geratriz.

Apolônio vai utilizar pela primeira vez o termo parábola para designar essa curva. Os nomes que foram adaptados dos pitagóricos para qual o termo elipse era usado quando um retângulo de área dada era aplicado a um segmento que lhe faltava um quadrado; o termo hipérbole era usado quando a área excedia o segmento; o termo parábola era usado quando não havia excesso nem falta.

Apolônio mostrou que o cone não precisa de ser reto (pode ser oblíquo ou escaleno) e que um cone oblíquo tem, não só uma infinidade de secções circulares paralelas à base, mas também um conjunto infinito de secções circulares dadas a que chamou secções

subcontrárias. Mostrou ainda que os pontos médios de um conjunto de cordas paralelas a um diâmetro de uma elipse ou hipérbole formam um segundo diâmetro, a que chamou diâmetros conjugados. A partir dos diâmetros conjugados, Apolônio mostrou que, se uma reta é traçada por uma extremidade de um diâmetro de uma elipse ou hipérbole paralelamente ao conjugado, a reta tocará a cônica e mais nenhuma reta pode cair entre ela e a cônica, isto é, a reta é tangente à cônica. Isso é o que Apolônio de Perga escreveu em seu Livro I.

Voltando a generalidade, os espelhos parabólicos quando estão voltados para o Sol, o ponto de concentração – foco – fica bastante quente. Por causa disso, esses espelhos receberam a denominação de espelhos incandescentes ou ustórios (“burning mirrors”). Tais espelhos também foram objetos de estudo por parte de outros matemáticos gregos, como Diocles (f.c. final do século II a.C) e Pappus de Alexandria (c.260 d.C - ?), em livros com o mesmo nome, isto é, Espelhos Incandescentes.

O efeito incandescente de raios solares incidindo em espelhos esféricos foi novamente reconhecido na Renascença, por intermédio do filósofo e físico italiano Giambattista Della Porta (c.1535-1615)<sup>(2)</sup>.

Novas contribuições ao estudo dos espelhos esféricos e parabólicos só apareceram na Idade Média, e desta vez no Oriente Médio, através dos trabalhos de Al-Hazen. No seu livro Kitab Al-Manazer (Tesouro da Óptica), escrito por volta de 1038 discutiu propriedades de espelhos esféricos e parabólicos, principalmente a determinação de seus focos, determinação essa que ficou conhecida como o “problema de Al-Hazen” (cf. Boyer, op. cit). Ao tentar determinar o foco dos espelhos esféricos, descobriu a aberração da esfericidade, isto é, a indefinição do foco de tais espelhos quando um feixe de raios luminosos paralelos, incidentes nos mesmos, for de grande abertura angular. Isto não acontece com os espelhos parabólicos, já que os raios luminosos incidentes são refletidos e focalizados em um mesmo ponto, independentemente da distância daqueles raios ao eixo do espelho. É por essa razão que os espelhos parabólicos são empregados em telescópios, holofotes, faróis de carro, pois que, uma pequena fonte luminosa colocada no foco objeto do espelho, produz um feixe refletido paralelo de luz.

Em agosto de 1610, Kepler usando um telescópio, escreveu em poucas semanas um tratado no qual fundou uma nova ciência: Dióptrica, ciência da refração das lentes. Nesse livro, Kepler descreve a maneira de determinar o foco de um espelho parabólico.

## 1.2. Espelhos e antenas parabólicas na atualidade

A sua principal característica é que as ondas mecânicas ou eletromagnéticas que nela incidem, convergem para um único ponto chamado *foco*.

O estigmatismo dos espelhos parabólicos pode ser empregado sempre que se deseja gerar feixes paralelos, como refletores, em faróis de automóveis ou holofotes, ou quando se pretende captar radiações que chegam em feixes paralelos, como em usinas solares ou antenas parabólicas.



**Figura 2.** Espelhos parabólicos utilizados em usinas solares.

As antenas parabólicas merecem uma abordagem um pouco mais detalhada. As antenas são espelhos, embora não pareçam porque não refletem luz. Isso ocorre porque elas são construídas para refletir ondas de radiofrequência, que tem comprimento de onda muito maior do que o da luz, com valores que variam de algumas centenas de metros até o mínimo de cerca de 0,3 m. Para esses comprimentos de onda, quase todas as superfícies são espelhos, mesmo que sejam cheias de buracos, como uma tela de arame. Por isso vamos nos referir a esses espelhos, de agora em diante, como refletores.

Para entender por que as antenas utilizam refletores parabólicos, é preciso entender o papel do refletor. A antena, a rigor, não é o refletor, mas sim o receptor. O refletor é apenas o captador da energia radiante proveniente do satélite. Quanto maior o refletor, maior a quantidade de energia captada. Mas não basta captar essa energia, é preciso enviá-la ao receptor da forma mais eficiente possível, concentrando toda a radiação que incide na antena num só ponto. Como os satélites estão muito distantes, o que, para a óptica, significa estar no infinito, utilizam-se refletores parabólicos, que são estigmáticos para pontos localizados no infinito. Dessa forma, toda a radiação converge para o foco do refletor, onde se coloca o receptor da antena. Há ainda uma propriedade importante que acentua a vantagem do refletor parabólico. Ao contrário da esfera, cuja forma é única, existem parabolóides mais abertos ou fechados, o que torna possível projetar antenas com foco na posição tecnicamente mais propícia utilizando até mesmo focos secundários, como nas antenas parabólicas menores.



**Figura 3.** Antena parabólica com receptor no foco principal.



**Figura 4.** Antena parabólica com receptor no foco secundário.

Mas não seria possível construir antenas esféricas? A resposta é simples e curiosa: isso é tecnicamente inviável por causa das condições de estigmatismo de Gauss, ou seja, um ponto objeto fornece um único ponto imagem. Para entender essa resposta, basta lembrar que o refletor deve ser estigmático para que o foco, onde o receptor é colocado, tenha uma posição bem definida. Senão, o foco fica mal definido e apenas uma parte da energia que chega ao refletor da antena é levada ao receptor. Já para um receptor esférico obedecer às condições de Gauss, o foco vai se localizar a uma distância tão grande do refletor, que a sua construção se torna tecnicamente inviável.

### **1.3. Propriedades ondulatórias do som**

O som tem todas as propriedades que caracterizam qualquer propagação ondulatória, embora as ondas sonoras não sejam visíveis. A reflexão é certamente a propriedade mais notável por causa do eco e das suas aplicações tecnológicas.

A Acústica tanto pode significar a parte da física que estuda as ondas sonoras, como a qualidade de um espaço arquitetônico, no que se refere às condições de propagação e recepção do som.

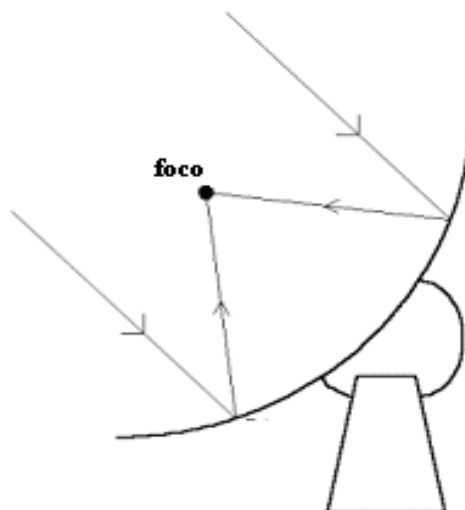
Fonte sonora é qualquer corpo capaz de fazer o ar oscilar com ondas de frequência e amplitude detectáveis pelos nossos ouvidos. Portanto, no nosso experimento, a principal fonte sonora será o aparelho fonador, ou seja, as nossas cordas vocais.

## **2. A Parábola – Propriedade**

### **2.1 Representação Geométrica do Espelho Parabólico**

Espelhos Parabólicos: A característica distinta de um espelho parabólico é que a luz que emanada do ponto focal estará refletida em trajetos paralelos pelo espelho. Inversamente, os raios claros que viajam em trajetos paralelos diretamente para o espelho convergirão ao ponto focal.

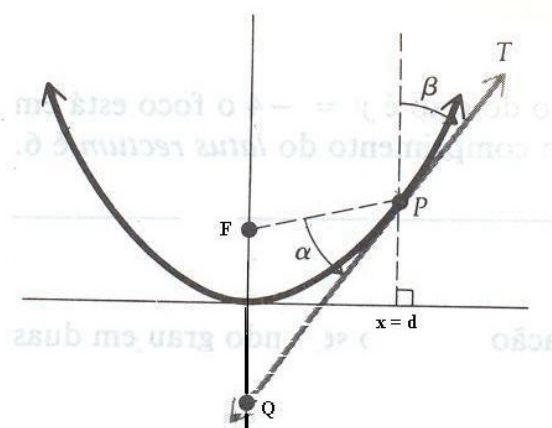
Esse princípio é válido para todas as ondas, sejam mecânicas ou eletromagnéticas, portanto as ondas sonoras que incidem paralelamente ao eixo principal irão incidir no foco do espelho. A figura abaixo ilustra esse princípio.



**Figura 5.** Representação geométrica das ondas incidentes no espelho parabólico.

## 2.2. Demonstração da Teoria da Convergência ao Foco do Espelho Parabólico

Existe uma propriedade interessante das parábolas que tem aplicações na construção de holofotes, faróis dianteiros dos automóveis e telescópios. Na figura 5, a reta  $PT$  é a reta tangente no ponto  $P$  ao gráfico da parábola.



**Figura 6.** Parábola utilizada para a demonstração da teoria da convergência.



O ponto F é o foco da parábola e  $\alpha$  é a medida do ângulo entre o segmento de reta FP e a reta tangente PT. A reta PR é paralela ao eixo da parábola e  $\beta$  é a medida do ângulo entre PR e PT. Portanto, para provarmos a propriedade do espelho acústico parabólico, temos que provar que  $\alpha = \beta$ .

Para provar a propriedade da convergência ao foco das ondas incidentes no espelho parabólico, utilizamos a seguinte alternativa.

- Traçando uma reta tangente ao ponto P (ponto onde a onda incide) e traçando uma reta normal (perpendicular à reta tangente), temos que  $\alpha = \beta$ .
- A reta tangente intercepta o eixo y no ponto denominado Q. Se provarmos que  $\overline{FP} = \overline{FQ}$ , ou seja, que o  $\Delta QFP$  é isósceles, sabemos que os seus ângulos da base são iguais.

Pela equação da parábola, sabemos que:

$$y = \frac{x^2}{4p}$$

O foco da parábola é dado por:

$$F = (0, p)$$

As coordenadas do ponto P são:

$$P = \left( d, \frac{d^2}{4p} \right)$$

A equação da reta tangente pode ser escrita como:

$$y = ax + b$$

Dessa forma, sabemos que as coordenadas do ponto Q serão:

$$Q = (0, b)$$

Mas a reta  $y = ax + b$  ainda não é tangente. Para tal, precisamos que haja uma intersecção entre as equações da parábola e da reta tangente:

$$y = \frac{x^2}{4p}$$

$$y = ax + b$$

Igualando as duas equações acima, teremos:

$$\frac{x^2}{4p} = ax + b$$

Rearranjando a equação e igualando-a a zero, temos:

$$x^2 - 4pax - 4pb = 0$$

Para acharmos a intersecção, temos que fazer com que  $\Delta = 0$ , para que seja o ponto onde a reta tangente toca a parábola:

$$\Delta = b^2 - 4ac = 0$$

$$\Delta = 16p^2a^2 + 16pb = 0$$

$$16pb = -16p^2a^2$$

O valor de b será:

$$b = -a^2 p$$

Substituindo o valor de b na equação da reta tangente  $y = ax + b$ , teremos:

$$y = ax - a^2 p$$

Substituindo as coordenadas x e y de P na equação acima, temos:

$$\frac{d^2}{4p} = ad - a^2 p$$

$$a^2 p - ad + \frac{d^2}{4p} = 0$$

$$a = \frac{d}{2p} \pm \frac{\sqrt{d^2 - \frac{4pd^2}{4p}}}{2p}$$

$$a = \frac{d}{2p} \pm \frac{\sqrt{d^2 - d^2}}{2p}$$

$$a = \frac{d}{2p}$$

Tendo o valor de a, sabemos os valores de b e Q:

$$b = -a^2 p$$

$$Q = (0, b)$$

$$b = -\left(\frac{d}{2p}\right)^2 p$$

$$Q = \left(0, -\frac{d^2}{4p}\right)$$

Agora temos as coordenadas dos 3 pontos principais (F, P e Q):

$$F = (0, p) \quad P = \left( d, \frac{d^2}{4p} \right) \quad Q = \left( 0, -\frac{d^2}{4p} \right)$$

Para o  $\Delta QFP$  ser isósceles, a distância entre  $\overline{FP} = \overline{FQ}$ . Elevando os dois termos ao quadrado para facilitar os cálculos, temos que:

$$\begin{aligned} \overline{FP}^2 &= \overline{FQ}^2 \\ (0-d)^2 + \left( p - \frac{d^2}{4p} \right)^2 &= 0 + \left( p + \frac{d^2}{4p} \right)^2 \\ d^2 + \left( p^2 - \frac{2pd^2}{4p} + \frac{d^4}{16p^2} \right) &= \left( p^2 + \frac{2pd^2}{4p} + \frac{d^4}{16p^2} \right) \\ d^2 + p^2 - \frac{d^2}{2} + \frac{d^4}{16p^2} &= p^2 + \frac{d^2}{2} + \frac{d^4}{16p^2} \\ d^2 - \frac{d^2}{2} &= \frac{d^2}{2} \\ \frac{d^2}{2} &= \frac{d^2}{2} \quad \text{c.q.d} \end{aligned}$$

Dessa forma, o  $\Delta QFP$  é isósceles pois possui os dois lados iguais e portanto os seus ângulos da base também são iguais.

A reta tangente intercepta o eixo y e a reta  $x = d$ . Sendo y e d duas retas paralelas cortadas por uma transversal (reta tangente), nos dá a propriedade que os ângulos  $\alpha$  e  $\beta$  são iguais.

Devido a essa igualdade, num espelho parabólico de um holofote, raios de luz de uma fonte localizada no foco são refletidos ao longo de retas paralelas ao eixo. Um princípio similar envolve os refletores parabólicos nos faróis dianteiros de um automóvel. Para um espelho parabólico num telescópio refletor, ocorre uma situação inversa, onde raios de luz de um objeto no céu, que incidem no espelho paralelamente ao eixo, são refletidos por ele e passam pelo foco.

### 2.3 Cálculo da Distância Focal do Espelho Parabólico

Para calcularmos a distância focal do nosso espelho parabólico, utilizamos os seguintes argumentos:

Como a nossa parábola é simétrica, a sua equação é escrita como:

$$y = ax^2 + bx + c \text{ (lado direito)}$$

$$y = ax^2 - bx + c \text{ (lado esquerdo)}$$

Igualando essas equações, temos que o termo  $b = 0$ . A equação que descreve a nossa parábola é  $y = ax^2 + c$ .

Tomando o nosso primeiro ponto da tabela 1, onde  $x = 0$  e  $y = 3$ , temos que:

$$y = ax^2 + c$$

$$3 = a(0)^2 + c$$

$$c = 3$$

Portanto  $y = ax^2 + 3$ . Sabendo que  $y = \frac{x^2}{4p}$ , temos que o valor de  $a$  é igual:

$$a = \frac{1}{4p}$$

Substituindo o valor de  $a$  encontrado acima na equação  $y = ax^2 + 3$ , teremos que:

$$y = \frac{x^2}{4p} + 3$$

$$y - 3 = \frac{x^2}{4p}$$

Tomando um par de pontos qualquer na nossa tabela 1 e substituindo na equação acima, teremos o valor de  $p$  que é o valor do foco da parábola. Escolhemos o par  $x = 75\text{cm}$  e  $y = 29,5\text{cm}$  para comprovar o valor:

$$y - 3 = \frac{x^2}{4p}$$

$$29,5 - 3 = \frac{(75)^2}{4p}$$

$$p = \frac{(75)^2}{4 \cdot 26,5}$$

$$p = 53cm$$

Com o valor do foco podemos calcular o raio de curvatura do espelho parabólico, dado por:

$$p = \frac{R}{2}$$

$$R = 2p$$

$$R = 2(53cm)$$

$$R = 106cm \text{ ou } R = 1,06m$$

### **3. Experimento**

#### **3.1 Montagem do Espelho Acústico Parabólico**

No experimento sobre espelhos acústicos parabólicos serão utilizados os seguintes materiais e ferramentas:

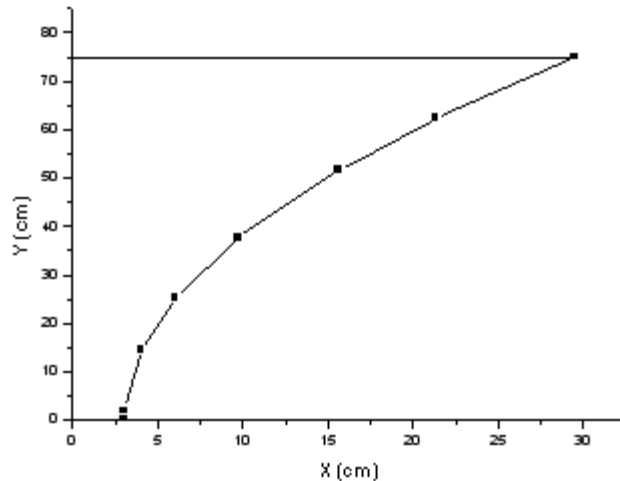
- Régua de plástico graduada, de 30cm ou maior.
- Placas de madeira de 1,0cm e 1,5cm de espessura
- Papel cartão (cartolina mais resistente)
- Cola branca ou adesivo instantâneo universal
- Parafusos
- Compasso
- Furadeira
- Serrote
- Lixas
- Estilete
- Lápis

Com o papel cartão, desenhei um retângulo de 32x75cm. Fazendo eixos cartesianos e colocando os valores de  $P_1$  a  $P_7$ , conforme a tabela abaixo, fiz a figura que será o molde de sustentação:

$X_1 = 0$	$Y_1 = 3,0\text{cm}$
$X_2 = 14,5\text{cm}$	$Y_2 = 4,0\text{cm}$
$X_3 = 25,2\text{cm}$	$Y_3 = 6,0\text{cm}$
$X_4 = 37,7\text{cm}$	$Y_4 = 9,7\text{cm}$
$X_5 = 51,7\text{cm}$	$Y_5 = 15,6\text{cm}$
$X_6 = 62,3\text{cm}$	$Y_6 = 21,3\text{cm}$
$X_7 = 75\text{cm}$	$Y_7 = 29,5\text{cm}$

**Tabela 1.** Valores de X e Y utilizados no molde da estrutura de sustentação.

De posse desses valores, faço o molde que ficará como o gráfico mostrado no Origin, somente como ilustração:



**Gráfico 1.** Molde da Estrutura de Sustentação do Espelho Parabólico.

Utilizando o molde desenhado em papel cartão, foi feito o molde em eucatex para depois utilizá-lo no corte da madeira. A figura abaixo mostra o molde de eucatex:



**Figura 7.** Molde da estrutura de sustentação feita em eucatex.

Feito o molde, começamos a cortar a madeira do tipo MDF (compensado) de 1,0cm para a estrutura de sustentação, conforme figura abaixo.



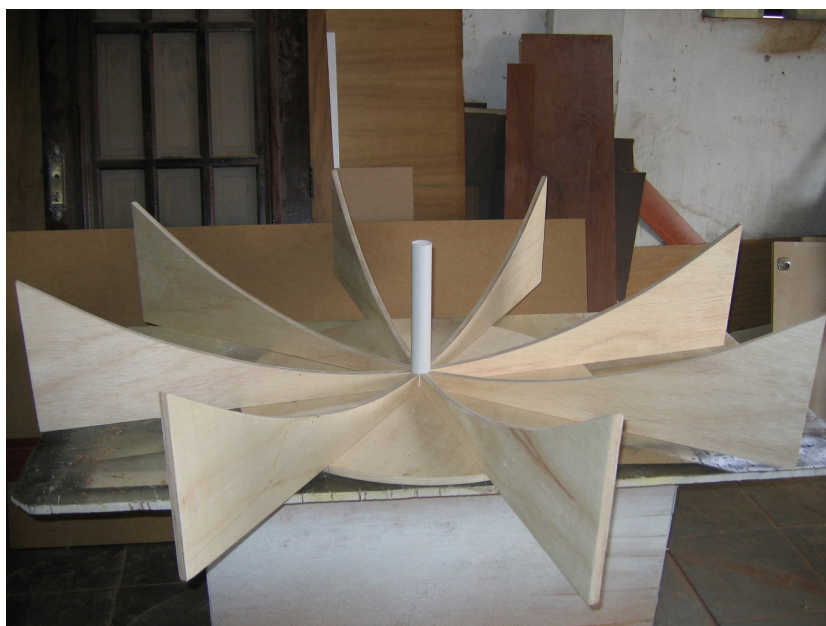
**Figura 8.** Estrutura de sustentação do espelho acústico parabólico.

Para cada espelho foram feitos 8 dessas estruturas que serão fixadas posteriormente no disco de madeira, que possui 35cm de raio e 1,5cm de espessura como mostra a figura a seguir:



**Figura 9.** Disco de madeira que será utilizado como base da estrutura de sustentação.

Estando os discos de madeira prontos, o próximo passo é fixar as estruturas de sustentação neles. Utilizando um lápis e régua, riscamos o disco e o dividimos em oito partes iguais. Fixamos as estruturas com parafusos, deixando no centro com raio de 2cm.



**Figura 10.** Espelho acústico parabólico montado.





**Figura 11.** Espelho acústico parabólico montado (em outro ângulo).

O cano utilizado no espelho ajudou a manter o raio central quando fixamos as estruturas no disco. Esse diâmetro é útil na parte do revestimento da parabólica com papel cartão.

A próxima parte foi montar o pedestal do espelho. Para tal, utilizamos madeira com 1,20m de altura apoiado por uma base de 1,5cm de espessura, conforme a figura a seguir:



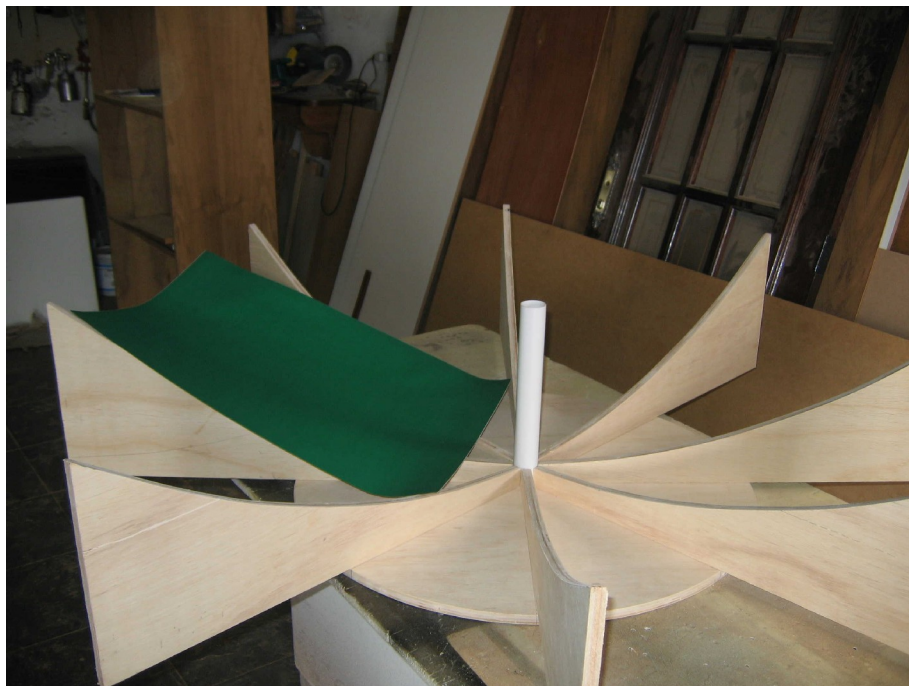
**Figura 12.** Pedestal de sustentação do espelho parabólico.

Feito isso, montamos com o auxílio de parafusos, o espelho acústico parabólico no pedestal conforme a figura abaixo:



**Figura 13.** Espelho acústico parabólico montado no pedestal.

Quando as estruturas ficaram prontas e montadas no pedestal, passamos ao próximo passo que é o revestimento dos espelhos. Primeiramente, o papel utilizado seria o papel cartão, que é mais resistente. Mas não foi encontrado no mercado papel cartão nas dimensões necessárias para o revestimento, como mostra a figura.



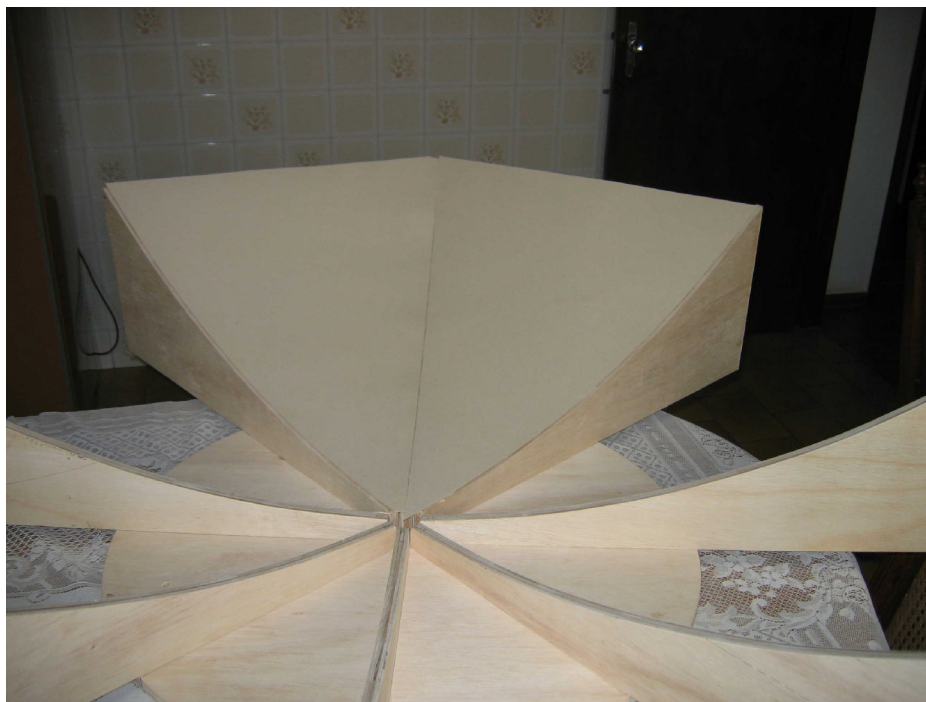
**Figura 14.** Amostra de papel cartão para o revestimento do espelho acústico parabólico.

Para solucionar o problema, utilizamos o papel Paraná que é espesso e resistente mecanicamente e também é encontrado com facilidade em grandes dimensões. No experimento utilizamos espessura de 0,8mm e tamanho de 0,80m x 1,20m. Colocamos a folha sobre o espelho, fixamos bem o papel à estrutura e riscamos à lápis o lado direito e esquerdo do papel em ambos os lados. Com o uso do estilete, cortamos o papel na forma mostrada abaixo.



**Figura 15.** Corte do papel Paraná que será utilizado no espelho acústico parabólico.

Temos que realizar o procedimento acima para cada par das estruturas, a fim de evitar a imperfeição entre cada papel. Não é recomendável fazer um molde principal para o papel e os outros serem cópias, pois pode haver pequenas imperfeições nas distâncias das estruturas de sustentação do espelho e ocasionar a perda de material e o revestimento incorreto do espelho. O resultado do revestimento é mostrado a seguir.



**Figura 16.** Revestimento do espelho com o papel Paraná.

Uma alteração feita no projeto original foi a colocação de pequenas “ripas” de madeira na extremidade das estruturas de sustentação para auxiliar o apoio do revestimento de papel, evitar a deformação dele e garantir que o espelho fique com a angulação correta, para que as ondas sonoras incidentes reflitam no foco. A figura mostra o uso desse recurso.



**Figura 17.** Pequenas ripas utilizadas para auxiliar a montagem do revestimento.

Feito o revestimento dos espelhos, a etapa final do experimento consiste em fazer a estrutura metálica que mostrará onde fica o foco do espelho. Esse foco tem que ficar a 53cm de distância da estrutura de sustentação. Como não era possível fazer essa parte metálica, pela ausência de materiais e ferramentas adequadas para produzir o mesmo, foi necessário recorrer a uma serralheria.

O experimento montado é mostrado a seguir:



**Figura 18.** Espelho acústico parabólico em funcionamento.

## **5. Alterações com relação ao projeto original**

- Todas as partes do experimento, desde os discos e as estruturas de sustentação até o pedestal foram feitos com a utilização de parafusos, para facilitar o transporte e a montagem dos mesmos.
- A troca do papel cartão pelo papel Paraná não afetou os resultados esperados anteriormente, pois o papel Paraná é mais duro e essa é uma condição necessária para o bom andamento do experimento.
- Ao invés de utilizar cola para fixar os papéis ao espelho, utilizamos percevejos distribuídos ao longo das estruturas de sustentação. A troca foi realizada para permitir a utilização dos mesmos papéis numa posterior montagem em outros locais. Com o uso da cola, não seria possível desmontar os espelhos, dificultando o seu transporte.
- O uso de pequenas ripas, conforme a figura 17, nos auxiliou com relação à montagem e a distribuição dos papéis sobre as estruturas de sustentação.

## **6. Referências da Internet Utilizadas**



As referências da internet utilizadas no experimento foram apenas o uso de algumas figuras coletadas no *Google*, para explicitar algumas das propriedades citadas. A maior dificuldade foi achar sites que falavam especificamente do que seria tratado por esse experimento. O mais comum era achar conteúdos gerais, que tratavam de espelhos esféricos e suas aplicações, sem a devida abordagem para o tema. Dessa forma, as referências estão explicitadas no tópico 6.2. Foram somente leituras instrutivas e que foram utilizados de forma mínima para a realização deste trabalho. Os *links* foram testados no dia do fechamento desse relatório e estão funcionando plenamente.

## **5. Comentários do Coordenador**

Primeiramente, quando da entrega do relatório parcial, o projeto foi reprovado pelo coordenador devido à falta de fotos que comprovavam o andamento do trabalho experimental. O comentário do coordenador foi o seguinte:

“Nota 3 (pode se considerar como RP reprovado)

Me parece altamente improvável que tenha sido possível queimar navios na Grécia antiga com espelhos metálicos, conhece alguma experiência que demonstre a possibilidade?

O trabalho não toma conta dos espelhos mais antigos, os espelhos olmecas, sendo que esse trabalho não somente consta na internet como que tem filme na página do sítio da disciplina.”

Por outro lado não descreve trabalho experimental algum, e o fato de fazer os espelhos em outra cidade não impede que use a câmera da disciplina e faça as fotos.

Tem de haver descrição sobre do que tratam as referências, e não esqueça de copiá-las pois o que leu tem de ser colocado no relatório.”

Como o experimento não estava sendo feito na cidade de Campinas, isso impossibilitou-me de tirar as fotos antes da entrega do relatório parcial e portanto o relatório parcial foi reprovado. Após conversar com o coordenador, entreguei o relatório parcial 1 com fotos do experimento. O comentário segue a seguir:

“Nota 9, parabens pelo trabalho em andamento.”

Após isso, dei continuidade ao trabalho e não houve mais comentários por parte do coordenador.

## **6. Comentários e Sugestões**

Esse experimento foi voltado à explicação dos fenômenos de recepção e transmissão de ondas sonoras através de espelhos parabólicos. Não nos preocupamos em mostrar o fenômeno ondulatório do som e as suas propriedades, ou mesmo o que ocorre com a onda sonora quando se propaga no ar. Acredito que o intuito do experimento não foi esse. Porém, deixo a sugestão para outras pessoas que queiram estudar os fenômenos ondulatórios do som, aproveitar o trabalho feito para estudar os efeitos da difração das ondas sonoras que se propagam no ar e as possíveis perdas que possam ocorrer.

## **7. Referências**

### **7.1. Bibliografia**

- (1) HEATH, T. – A History of Greek Mathematics, Vol.2, pág 179.
- (2) MICROPAEDIA. In: Encyclopaedia britannica. University of Chicago, 1978. v.8.
- VALADARES, E. de C. - Física mais que divertida, 2ªedição, Editora UFMG, Belo Horizonte – MG, 2002
- LEITHOLD, L. - O Cálculo com Geometria Analítica, Vol.1, 3ª Edição, Editora Harbra Ltda., 1994 - pág 584.
- EVES, H. – Introdução à História da Matemática, Editora da Unicamp, 2004.
- BASSALO, J.M.F – A Crônica da Ótica Clássica – Cad. Cat. Ens. Fis., Florianópolis, 3 (3): 138-159, dez. 1986.
- GASPAR, A. – Física 2 – Ondas, Óptica, Termodinâmica – Ed. Ática, 2000. Pp 124-148.

### **6.2 Sobre espelhos acústicos parabólicos**

- <http://farside.ph.utexas.edu/teaching/3021/lectures/node114.html>
- <http://www.mathreference.com/la-qf,paramir.html>
- [http://www.ap.stmarys.ca/demos/content/optics/mirage\\_mirror/mirage\\_mirror.html](http://www.ap.stmarys.ca/demos/content/optics/mirage_mirror/mirage_mirror.html)

- <http://library.thinkquest.org/22915/reflection.html>
- [http://www.answers.com/main/ntquery;jsessionid=2cucs0obtmw1n?method=4&dsid=2222&dekey=Parabolic+reflector&gwp=8&curtab=2222\\_1&sbid=lc03a&linktext=parabolic](http://www.answers.com/main/ntquery;jsessionid=2cucs0obtmw1n?method=4&dsid=2222&dekey=Parabolic+reflector&gwp=8&curtab=2222_1&sbid=lc03a&linktext=parabolic)