



## **ESTUDO DE DOIS ESPELHOS PARABÓLICOS PARA TRANSMISSÃO DE SOM E ANÁLISE DE NÍVEL SONORO**

**Eduardo Augusto Sardanha** – eduardoas@catolicasc.org.br  
Centro Universitário Católica de Santa Catarina, Engenharia Mecânica  
Rua dos Imigrantes, 500 – Bairro Rau  
CEP 89254-430 – Jaraguá do Sul – Santa Catarina

**Francisco Alfaro** – alfaro@catolicasc.org.br  
Centro Universitário Católica de Santa Catarina, Engenharia Mecânica  
Rua dos Imigrantes, 500 – Bairro Rau  
CEP 89254-430 – Jaraguá do Sul – Santa Catarina

**Resumo:** *O trabalho se refere ao estudo realizado em duas antenas parabólicas utilizadas como refletores para transmissão de som. Elas são de chapa fechadas que possibilitam a interação entre o emissor e o receptor. Também foram utilizados outros equipamentos para o auxílio das medidas experimentais, como oscilador de áudio, decibelímetro, alto-falante e trena. A fonte sonora de frequência e volume contínuo foi colocada no foco de uma das antenas, e os níveis sonoros captados no foco da outra parabólica foram maiores do que os medidos próximos à fonte emissora. Foram realizados três tipos de ensaio. Primeiro a fonte sonora foi posta no foco da antena emissora, o decibelímetro foi posicionado ao lado desse foco a uma distância de 75 cm e depois no foco da parabólica receptora. No último ensaio o decibelímetro ficou ao lado da parabólica receptora e a fonte sonora ao lado da emissora. Para estes três tipos de ensaios a frequência foi variada de 500 a 3000 Hz, com intervalo fixo de 500 Hz, com distâncias de 8,5, 18 e 28 m entre as antenas. As medidas de nível sonoro provaram que o uso das antenas parabólicas melhorou a transmissão do som, quando comparadas com as medidas sem o uso das antenas.*

**Palavras-chave:** *Reflexão Sonora, Nível Sonoro, Propagação de Ondas Sonoras*

## 1. INTRODUÇÃO

A principal característica de um espelho parabólico é que as ondas mecânicas ou eletromagnéticas que incidem em sua superfície são refletidas e direcionadas para um único ponto denominado foco. Existem diversas aplicações para esse tipo de espelho quando se trata de ondas eletromagnéticas, 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 (BOVOLENTA, 2005).

A aplicação de um espelho para ondas sonoras não é tão comum quanto para ondas eletromagnéticas, mas instiga e proporciona a investigação científica de fenômenos muito interessantes relacionados à capacidade de se poder ouvir ou não um determinado som.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Som

O som pode se propagar em qualquer meio material, seja ele sólido, líquido ou gasoso. Quando ocorre variação de pressão em um meio e este atinge nossos ouvidos, essa variação de pressão vai provocar uma vibração na membrana do ouvido, ocasionando o processo de audição. Nosso sistema auditivo funciona para faixas de frequência entre 16 Hz e 20.000 Hz. As ondas sonoras que atuam em frequência acima de 20.000 Hz são chamadas de ultrassons. Já as atuantes abaixo de 16 Hz podem ser chamadas de infrassons. (ALONSO, 2002).

As ondas sonoras partem de uma fonte emissora e necessitam de um meio material para se propagarem, ou seja, não se propagam no vácuo. Como as moléculas de ar se movimentam na direção da propagação do som, podemos classificar a onda sonora como uma onda longitudinal. O som tem maior velocidade de propagação em sólidos, depois líquidos, e por fim, nos gases. (BAUER, 2013).

É possível classificar a altura do som de acordo com sua frequência. Quanto maior a frequência, mais agudo é o som. Um som mais grave provém de uma frequência menor. (COSTA, 2003).

O timbre do som está relacionado com a forma da onda sonora, isso permite identificar a fonte emissora do som ou sua procedência, sendo ela proveniente de um equipamento eletrônico, instrumento musical ou até mesmo a voz de uma pessoa. (COSTA, 2003).

Outra característica do som é a sua intensidade, que é baseada na amplitude da onda sonora, caracterizada pela variação de pressão do meio onde ocorre sua propagação. (COSTA, 2003).

### 2.2. Intensidade sonora

Para medir o nível de intensidade sonora ( $\beta$ ) utiliza-se uma escala logarítmica. A unidade desta escala é o decibel (dB). A expressão que define o nível de som na escala decibel está descrita a seguir:

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.1)$$

Onde a intensidade “ $I$ ” é igual a potência irradiada por unidade de área equação (2.2) e  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  é a intensidade sonora mínima que um ouvido humano pode escutar. A notação “log” refere-se ao logaritmo de base 10 (BAUER, 2013).

$$I = \frac{P}{A} \quad (2.2)$$

A área ( $A$ ) pode ser considerada a de uma superfície esférica caso a fonte sonora emita som de maneira isotrópica em todas as direções:

$$A = 4\pi r^2 \quad (2.3)$$

Substituindo a equação (2.3) em (2.2), obtêm-se:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (2.4)$$

De acordo com BAUER (2013), o nível sonoro relativo ( $\Delta\beta$ ), é a diferença entre dois níveis sonoros, e pode ser expresso como:

$$\Delta\beta = 10 \log \frac{I_2}{I_1} \quad (2.5)$$

### 2.3. Reflexão em espelhos esféricos

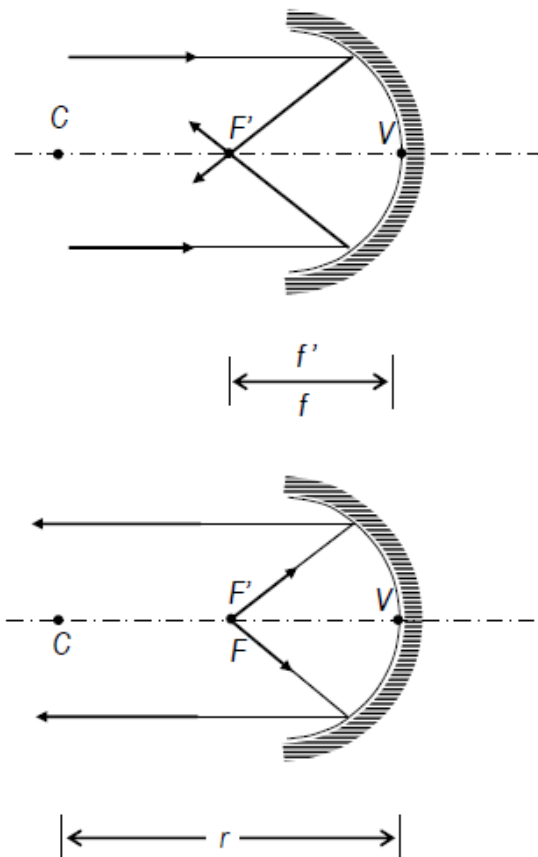
Os espelhos esféricos, em geral, tendem a refletir ondas mecânicas ou eletromagnéticas para um único ponto denominado foco. Para determinar o foco do espelho podemos traçar uma linha imaginária que deverá passar pelo centro do raio de curvatura ( $C$ ) e pelo centro do espelho ( $c$ ) (ver Figura 2).

Os espelhos esféricos podem ser classificados como côncavos ou convexos.

De acordo com HALLIDAY (2012), quando as ondas paralelas são refletidas por um espelho côncavo elas convergem para o foco ou ponto focal ( $F'$ ).

A Figura 1 demonstra que as ondas que chegam paralelamente ao eixo central tendem a convergir para o foco ( $F'$ ) do espelho e as ondas emitidas a partir do foco são refletidas paralelamente ao eixo central.

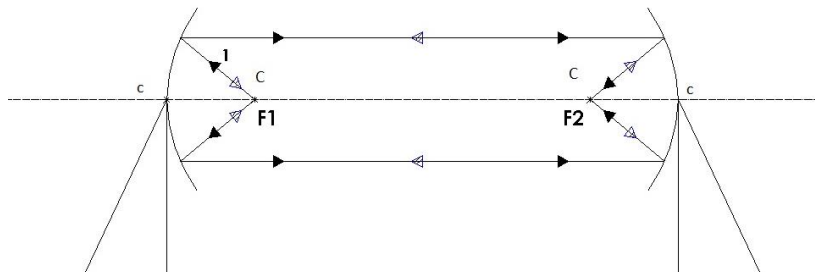
Figura 1 - Reflexão em espelhos côncavos



Fonte: PEREIRA, 2008

Este princípio de reflexão permite uma comunicação entre dois espelhos côncavos com focos alinhados e posicionados um de frente para o outro, conforme Figura 2.

Figura 2 - Reflexão em espelhos acústicos parabólicos



Fonte: Do autor, 2014



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Instrumentos de medida e softwares

Para investigar as reflexões de ondas sonoras em espelhos parabólicos foram utilizados os seguintes materiais: duas antenas parabólicas de chapa da marca Lemon de 1,5 m de diâmetro; um decibelímetro digital portátil da marca Minipa, modelo MSL-1352C, com faixa de medida de 30 dB a 130 dB e precisão de +/- 1.5 dB; um oscilador de áudio Landmeier – Ref: EQ044.11 do conjunto para acústica - Schuller-Mac II, da marca Cidepe; uma trena de bolso Starrett, série TS, comprimento da fita 5 m – 16', largura da fita 19 mm – 3/4", graduação S9 (mm/pol.); um alto-falante modelo ROK 93 G.

Os dados do decibelímetro foram salvos em um computador e analisados através do *Sound Level Meter Software*, que disponibiliza os níveis de intensidade sonora captados a cada segundo. Os gráficos foram gerados no *Microsoft Excel*.

#### 3.2. Procedimento para as medições

A sequência do procedimento foi: definir a distância entre os focos das parabólicas emissora e receptora; com o auxílio da trena, marcar a distância desejada e posicionar as respectivas parabólicas; alinhar os focos das parabólicas vertical e horizontalmente; Definir as faixas de frequência e ajustar o Oscilador para a frequência desejada; posicionar o alto-falante no foco da parábola emissora; posicionar o decibelímetro ao lado da fonte emissora, a uma distância de 75 cm (ver Figura 3); Medir e gravar, com o decibelímetro, a intensidade sonora ao lado da fonte emissora (aumentar o volume do oscilador até o máximo); Posicionar o decibelímetro no foco da parabólica receptora (ver Figura 4); Medir e gravar, com o decibelímetro, a intensidade sonora no foco da parabólica receptora (aumentar o volume do oscilador até o máximo); Retirar o alto falante do foco e posicionar ao lado da parabólica emissora; Posicionar o decibelímetro ao lado da parabólica receptora; Medir e gravar, com o decibelímetro, a intensidade sonora ao lado da parabólica receptora (aumentar o volume do oscilador até o máximo).

Todo esse procedimento foi repetido três vezes para distâncias de 28, 18 e 8,5 m entre as antenas para as frequências de 3000, 2500, 2000, 1500, 1000 e 500 Hz.

Figura 3 - Decibelímetro posicionado ao lado da fonte emissora



Fonte: Do Autor, 2014

Figura 4 - Decibelímetro posicionado no foco da parabólica receptora



Fonte: Do Autor, 2014

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

##### 4.1. Medições a céu aberto – 28 metros entre focos das parabólicas

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre as medições realizadas com as parabólicas alinhadas e seus focos distanciados 28 m entre si.

As nomenclaturas adotadas foram:  $\beta_1$  para as medições realizadas ao lado da fonte sonora,  $\beta_2$  para as medições realizadas no foco da parabólica receptora com a fonte sonora no foco da parabólica emissora e  $\beta_3$  com a fonte sonora ao lado da parabólica emissora e o decibelímetro ao lado da parabólica receptora.

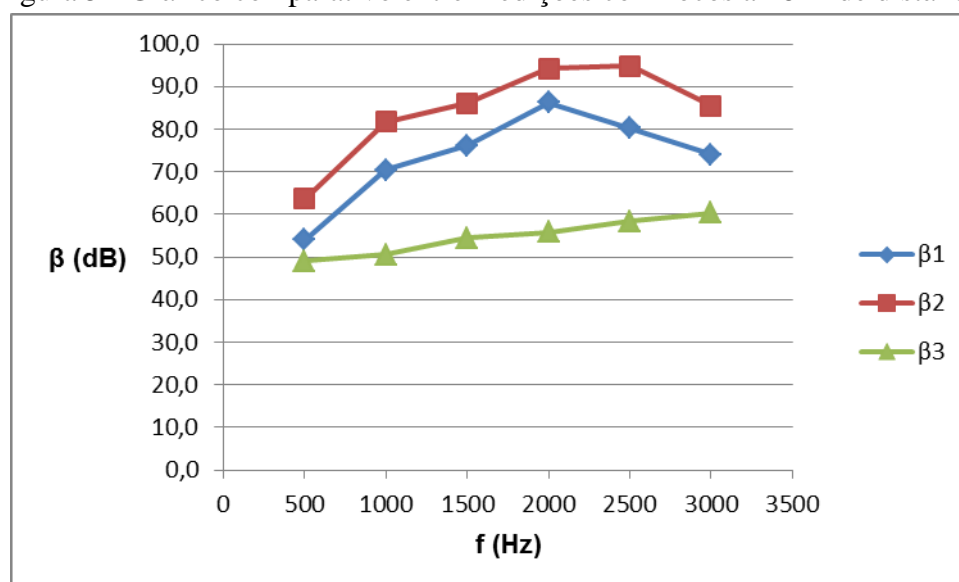
Tabela 1 - Comparativo entre medições com focos a 28m de distância

f (Hz)	500	1000	1500	2000	2500	3000
$\beta_1$ (dB)	54	70,4	76,2	86,2	80,3	74
$\beta_2$ (dB)	63,7	81,7	86,1	94,3	94,8	85,5
$\beta_3$ (dB)	49	50,5	54,5	55,8	58,4	60,4

Fonte: Do Autor, 2014

A Figura 5 representa os valores comparativos da Tabela 1 em forma de gráfico.

Figura 5 - Gráfico comparativo entre medições com focos a 28 m de distância



Fonte: Do Autor, 2014

O gráfico deixa claro que os níveis sonoros captados no foco da parabólica foram maiores que os captados ao lado da fonte sonora. Isto não quer dizer que o som aumenta na

antena receptora, apenas indica que o nível sonoro captado no foco da antena é maior que o nível sonoro medido próximo a fonte sonora.

Quando se compara com os resultados obtidos para a fonte sonora e o decibelímetro fora da área de atuação das parabólicas, percebe-se a influência que as reflexões sonoras tiveram com o uso das antenas.

#### 4.2. Medições a céu aberto – 18 metros entre focos das parabólicas

Na Tabela 2 tem-se o comparativo entre as medições realizadas com as parabólicas alinhadas e seus focos distanciados 18 m entre si. As nomenclaturas adotadas foram as mesmas dos comparativos a 28 m, apresentadas no item 2.1.

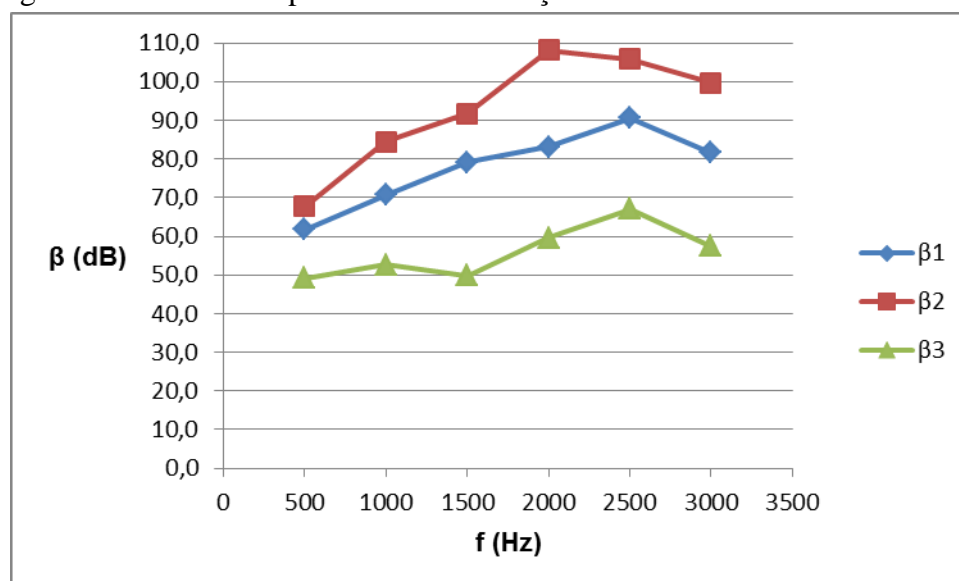
Tabela 2 - Comparativo entre medições com focos a 18m de distância

f (Hz)	500	1000	1500	2000	2500	3000
$\beta_1$ (dB)	61,8	70,7	79,2	83,2	90,6	81,6
$\beta_2$ (dB)	67,7	84,4	91,8	108,2	105,7	99,8
$\beta_3$ (dB)	49,1	52,6	49,8	59,7	67,0	57,4

Fonte: Do Autor, 2014

O gráfico comparativo entre os três pontos de medição para os focos distânciados 18 m entre si está representado na Figura 6.

Figura 6 - Gráfico comparativo entre medições com focos a 18 m de distância



Fonte: Do Autor, 2014



Nas medições à 18 m os níveis sonoros medidos com a fonte sonora e o decibelímetro no foco ganharam ainda mais destaque frente aos demais valores. Os valores para o decibelímetro ao lado da fonte emissora continuaram como intermediários, e os níveis sonoros sem a influência das parabólicas foram os menores.

#### 4.3. Medições a céu aberto – 8,5 metros entre focos das parabólicas

Na Tabela 3 estão apresentados os dados comparativos para cada ensaio a 8,5 m de distância entre os focos das parabólicas, novamente adotando a mesma nomenclatura do item 4.1.

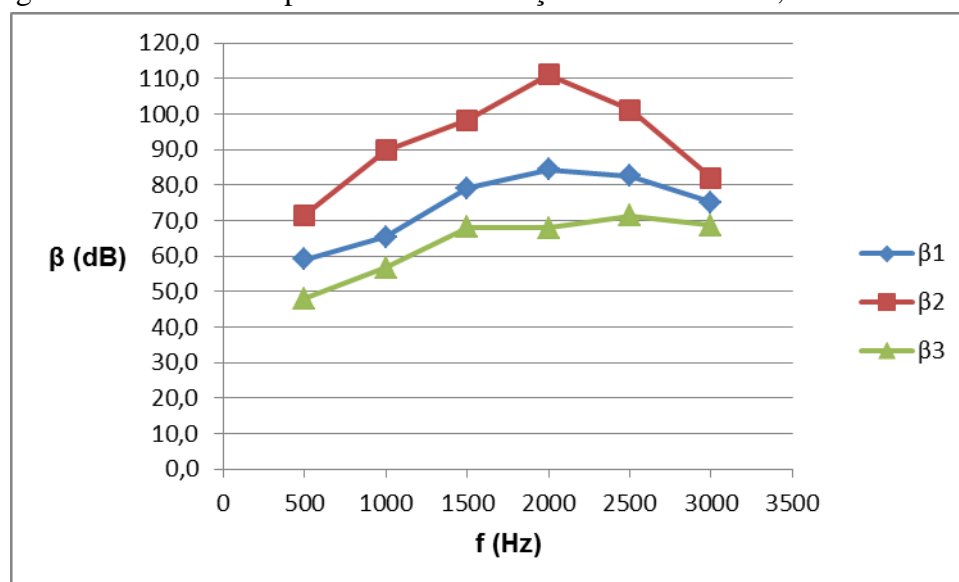
Tabela 3 - Comparativo entre medições com focos a 8,5 m de distância

f (Hz)	500	1000	1500	2000	2500	3000
$\beta_1$ (dB)	59,0	65,4	79,0	84,3	82,5	75,1
$\beta_2$ (dB)	71,5	89,9	98,3	111,0	101,1	82,1
$\beta_3$ (dB)	48,0	56,8	68,1	67,8	71,3	68,7

Fonte: Do Autor, 2014

A Figura 7 está representando os dados apresentados na Tabela 3 na forma de gráfico.

Figura 7 - Gráfico comparativo entre medições com focos a 8,5 m de distância



Fonte: Do Autor, 2014

Para 8,5 m manteve-se a tendência das demais distâncias, com os níveis sonoros no foco sendo bem superiores, seguidos pelas medidas ao lado da fonte emissora e por último ao



lado das parabólicas. Desta vez a diferença entre  $\beta_1$  e  $\beta_3$  não foi tão grande pelo fato das medições terem sido feitas com uma proximidade menor entre a fonte emissora e o decibelímetro.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os gráficos das medições de nível sonoro e a percepção auditiva nos ensaios indicam que o alto-falante utilizado para os experimentos apresenta um melhor desempenho para sons mais agudos, por isso os sinais de 500 Hz tiveram os menores níveis sonoros detectados pelo decibelímetro.

É importante salientar que alguns fatores externos, como vento, ruído ambiente, temperatura e umidade relativa do ar, podem ter contribuído para pequenas discrepâncias nos resultados apresentados.

As análises dos resultados deixam clara a influência que as parabólicas têm na transmissão de ondas sonoras. Para todas as distâncias em que os ensaios foram feitos, os níveis sonoros detectados sem as parabólicas ficaram sempre menores que as medidas referentes ao uso das antenas.

Além de auxiliar nesse projeto, o estudo da transmissão do som com a ajuda das antenas permite o surgimento de novos desafios e novas pesquisas para futuros acadêmicos de iniciação científica ou Trabalhos de Conclusão de Curso. Pode ser investigada, por exemplo, a influência que diferentes geometrias exercem na reflexão do som, além de analisar teórica e experimentalmente a eficiência que essas antenas proporcionam nos níveis sonoros captados com e sem as antenas. Para essa última ideia, sugere-se ajustar o volume da fonte sonora sempre em um mesmo nível sonoro e repetir o procedimento utilizado nesse projeto. Isso possibilitará uma melhor compreensão da eficiência que os refletores parabólicos proporcionam na transmissão de ondas sonoras.

Por fim, esse projeto comprovou experimentalmente a influência das antenas parabólicas na transmissão de um som e agora faz parte da paisagem do Centro Universitário Católica de Santa Catarina em Jaraguá do Sul, para exposição à comunidade acadêmica.

## 6. REFERÊNCIAS / CITAÇÕES

### *Livros:*

ALONSO, Marcelo. et al. Física: um curso universitário. 9ª reimpressão. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2002. 565p.

BAUER, Wolfgang. et al. Física para universitários – Relatividade, oscilações, ondas e calor. 1ª edição. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2013. 348p.



COSTA, Ennio Cruz da. Acústica técnica. 1ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2003. 127p.

HALLIDAY, David. et al. Fundamentos de física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. 8ª edição. Rio de Janeiro: LCT, 2011.

HALLIDAY, David. et al. Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna. 9ª edição. Rio de Janeiro: LCT, 2012.

PEREIRA, Mário. Óptica: Geométrica ocular. 2008. 177 f. Universidade da Beira Interior – Departamento de Física, Covilhã.

***Monografias, dissertações e teses:***

BOVOLenta, Humberto D.; UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Telefone sem fio: espelhos acústicos parabólicos. 2005. 27 f. (Relatório Final).

## **STUDY OF TWO PARABOLIC MIRRORS FOR TRANSMISSION OF SOUND AND ANALYSIS OF SOUND LEVEL**

***Abstract:*** The paper refers to a study conducted in two parabolic dishes used as reflectors for sound transmission. They are parabolic dishes which enable interaction between sender and receiver. Other equipment to the aid of experimental measurements, such as audio oscillator, decibel meter, audio speaker and measuring tape were also used. The sound source of frequency and continuous volume was placed at the focus of one of the parabolic dish, and the sound levels obtained in the focus of another dish were higher than those measured near the emitting source. Three types of test were performed. First, the sound source was placed at the focus of the transmitting dish, the decibel meter was placed at the side of this focus at a distance of 75 cm and then at the focus of the receiving dish. To the last test, the decibel meter was placed next to the receiver dish and the sound source next to the emitting source. For these three types of tests, the frequency was varied 500-3000 Hz, with a fixed range of 500 Hz, with distances of 8.5, 18 and 28 m between the parabolic dishes. The sound level measurements proved that the use of parabolic dishes improved the sound transmission as compared with the measurements without the use of them.

***Keywords:*** Reflection Sound, Sound Level, Propagation of Sound Waves