



## A INFLUÊNCIA DA FORMA NO DESEMPENHO ACÚSTICO DOS AMBIENTES<sup>1</sup>

**FAURO, Daiana<sup>2</sup>; ROCHA, Bibiana da<sup>3</sup>, PEREIRA, Clarissa de Oliveira<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Trabalho de Pesquisa \_UNIFRA

<sup>2</sup> Curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário Franciscano (UNIFRA), Santa Maria, RS, Brasil

<sup>3</sup> Curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário Franciscano (UNIFRA), Santa Maria, RS, Brasil

<sup>4</sup> Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário Franciscano (UNIFRA), Santa Maria, RS, Brasil

E-mail: [daia\\_fauro@hotmail.com](mailto:daia_fauro@hotmail.com); [bibianaschmitz@hotmail.com](mailto:bibianaschmitz@hotmail.com); [clarissaopereira@hotmail.com](mailto:clarissaopereira@hotmail.com)

### RESUMO

O presente trabalho analisará a geometria interna nos ambientes e as influências que ela pode apresentar no seu desempenho acústico. Foi feita uma pesquisa nos diferentes tipos geométricos de salas de Concertos, de Teatro entre outras, com o objetivo de encontrar a forma ideal para o local, levando em consideração o tempo de reverberação de cada ambiente. A forma geométrica influencia diretamente na acústica do ambiente, podendo ser considerada o principal elemento para o bom desempenho acústico. Para que isso ocorra, muitos fatores devem ser analisados, entre eles o tempo de reverberação, o qual varia entre os tipos e tamanhos de cada sala, também deve ser analisado o fator do eco, o qual pode ser muito desconfortável tanto para o expectador como para o apresentador. A escolha correta da forma geométrica é fundamental para o bom desempenho acústico ao ambiente.

**Palavras-chave:** Forma; Acústica; Desempenho; Reverberação.

### 1. INTRODUÇÃO

Em um projeto arquitetônico, tanto de salas de concertos, teatros ou até mesmo em salas de aula ou residências, a forma é de grande influência. Estas formas conferem características acústicas variáveis à sala e, portanto, a seleção da forma básica é de fundamental importância não somente do ponto de vista arquitetônico, como também do ponto de vista acústico.

### 2. CONCEITOS DO SOM

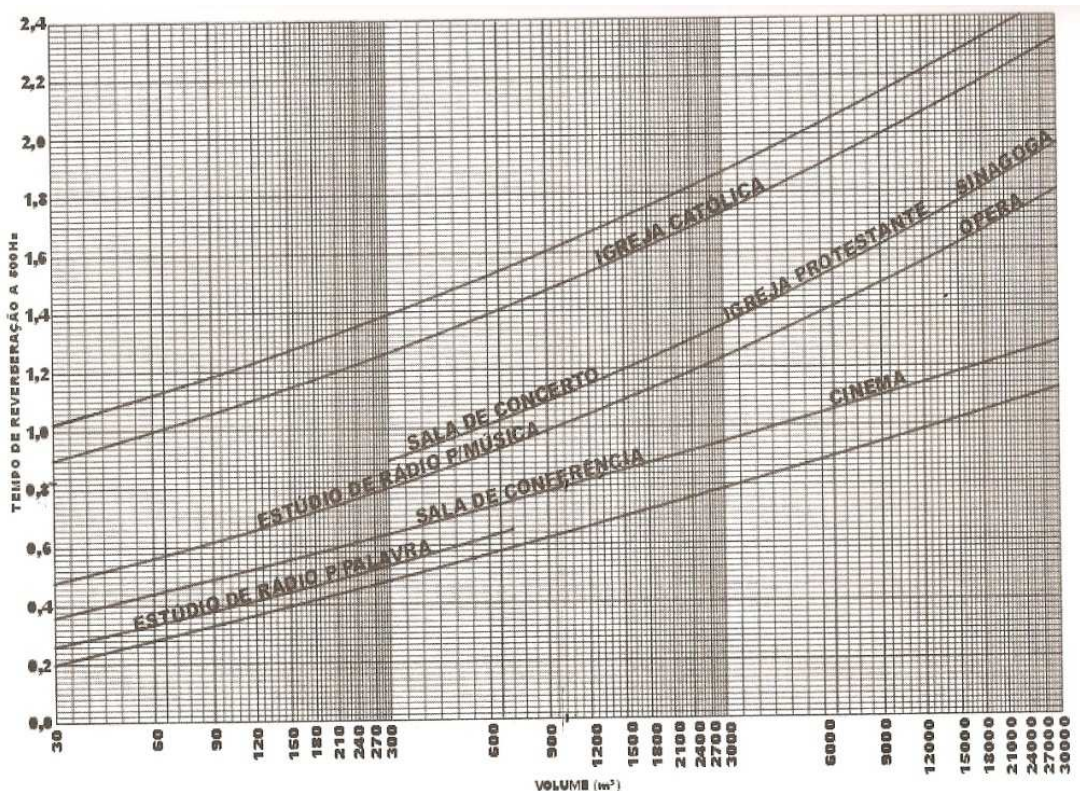


**2.1. ECO:** Ocorre sempre que o som refletido retorna a origem em um intervalo superior a 1/15 do segundo (4 segundos) o que equivale a uma distância de 22 metros, pois resulta do primeiro valor multiplicado pela velocidade de propagação do som.

**2.2. ECO PALPITANTE:** Eco resultante de sucessivas reflexões entre paredes paralelas muito próximas.

**2.3. REVERBERAÇÃO:** Tempo de desaparecimento gradual do som. Varia de acordo com a velocidade do som em relação ao ambiente.

**2.4. TEMPO ÓTIMO DE REVERBERAÇÃO:** Tendo que o efeito de reverberação consiste no desaparecimento gradual do som, o tempo ótimo de reverberação varia conforme o uso e o volume do ambiente. Reverberações em tempos longos geram a sobreposição de sons, enquanto os curtos tendem ao desaparecimento do som. Temos então que, quanto maior for o volume maior deverá ser o tempo ideal de reverberação. Para um tempo de reverberação de 500Hz são encontrados os valores de tempos ótimos de reverberação conforme o volume do ambiente prescrito pelo gráfico abaixo.

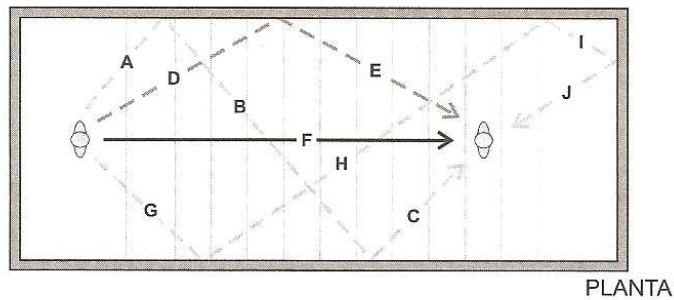


**Figura 1:** Tempo ótimo de Reverberação. Fonte NBR 12179. Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro: ABNT, abril de 1992. 9p.

### 3. REVERBERAÇÃO CONFORME O PERCURSO DO SOM

Avalia-se o nível aceitável de reverberação de um som a partir da inteligibilidade do mesmo a ser garantida pelo ambiente. A partir do princípio de que a recepção de um som em um intervalo superior a 1/15 do segundo gera o efeito de eco a distâncias acima de vinte e dois metros, adota-se intervalo de tempo de recepção igual a 1/10 do segundo para uma distinção perfeita do som articulado.

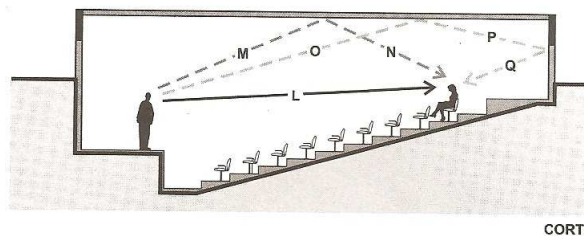
Este percurso equivalente a um total de trinta e quatro metros deve respeitar a diferença entre as distâncias percorrida direta e de reflexão de dezessete metros. Permitindo então, que seja respeitado o tempo de vibração da membrana basilar do ouvido humano.



PLANTA

PLANTA:  
 $A + B + C - F < 17m$   
 $D + E - F < 17m$   
 $G + H + I + J - F < 17m$

**Figura 2:** Percurso do Som. Fonte: CARVALHO, Benjamin de a. Acústica Aplicada à Arquitetura. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1967.



CORTE

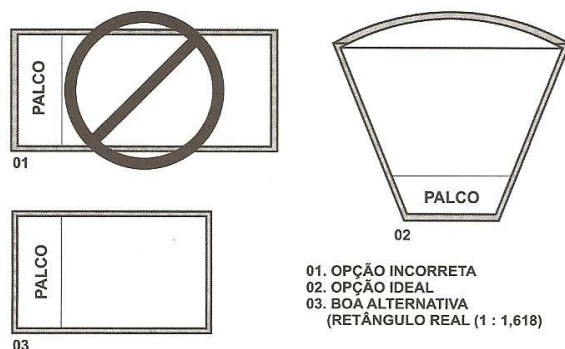
CORTE:  
 $M + N - L < 17m$   
 $O + P + Q - L < 17m$

**Figura 3:** Percurso do Som. Fonte: CARVALHO, Benjamin de a. Acústica Aplicada à Arquitetura. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1967.

#### 4. GEOMETRIA INTERNA DOS RECINTOS

Depois de um breve repasso sobre alguns exemplos de salas de concerto, se descrevem algumas tipologias (neste caso, as consideradas mais usuais para o contexto arquitetônico ocidental), considerando o ponto de vista do desenho da planta.

As formas de auditórios e teatros mais indicadas na composição de suas plantas baixas são as trapezoidais alongadas ou as retangulares construídas segundo a proporção áurea (1,618). A forma trapezoidal ou em leque como é chamada, promove uma boa audibilidade e visibilidade, já que reduz as distâncias ao ouvinte, promove melhor visibilidade e evita problemas decorrentes do eco palpitante gerado por superfícies paralelas muito próximas. Outro problema advindo de plantas retangulares é o acontecimento de ecos, que resultam de grandes distâncias ou superfícies paralelas muito próximas.



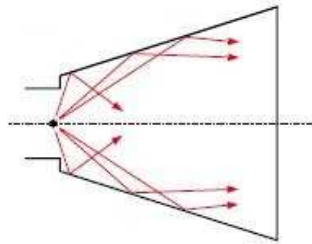
**Figura 4:** Formatos em planta baixa. Fonte: ARAU, H. ABC de la acústica arquitectonica. Barcelona: CEAC, 1999.

#### 4.1. FORMA TRAPEZOIDAL

Quando a configuração de uma sala apresentar a forma trapezoidal (também conhecida como forma em leque), como desenho de planta, pode-se encontrar duas situações distintas: forma em leque (neste caso, convencional), ou forma em leque invertida.

##### 4.1.1. FORMA EM LEQUE

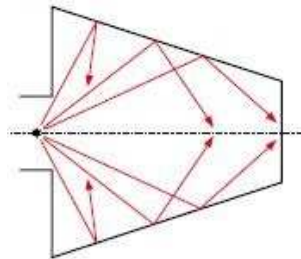
A forma em leque como é chamada, promove uma boa audibilidade e visibilidade, já que reduz as distâncias ao ouvinte, promove melhor visibilidade e evita problemas decorrentes do eco palpitante gerado por superfícies paralelas muito próximas. Algumas considerações sobre esta forma seria a ausência das primeiras reflexões laterais na parte central do recinto, desde a fonte sonora.



**Figura 5:** Forma em leque. Fonte: CARRION, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Edicions UPC,1998

#### 4.1.2. FORMA EM LEQUE INVERTIDA

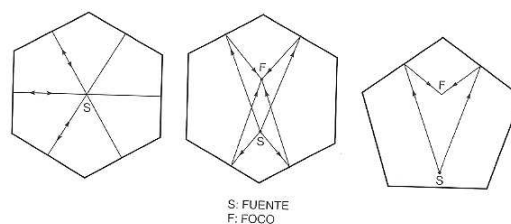
Segundo CARRION, esta configuração de sala se caracteriza por ter uma grande quantidade de primeiras reflexões, quando analisadas desde o ponto onde se localiza a fonte sonora. Por ter a visibilidade comprometida, esta configuração não é adequada como desenho para salas com esta finalidade.



**Figura 6:** Forma em leque. Fonte: CARRION, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Edicions UPC,1998

#### 4.2. FORMAS POLIGONAIS

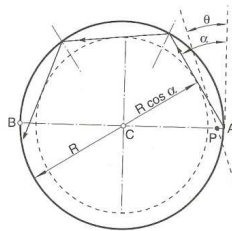
Já as formas de plantas poligonais podem resultar na ocorrência de propagação de sons baixos, chamados sussurros de galerias, os quais são registrados em pontos focais. Isto se deve a maior quantidade de superfícies refletoras, podendo também concentrar ou sobrepor os feixes de som além de gerar eco.



**Figura 7:** Forma poligonal. Fonte: ARAU, H. ABC de la acústica arquitectonica. Barcelona: CEAC, 1999.

### 4.3. FORMAS CIRCULARES

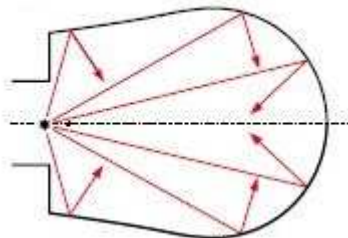
Os mesmos efeitos ocorrem em plantas circulares, nas quais ocorre a propagação tangencial do som focalizando sussurros na parte periférica do ambiente. Estes afetam principalmente a região entre as circunferências concêntricas dificultando a compreensão do ouvinte na área.



**Figura 8:** Forma concêntrica. Fonte: ARAU, H. ABC de la acústica arquitectonica. Barcelona: CEAC, 1999.

### 4.4. FORMA FERRADURA

Este tipo de configuração é bastante usual para salas com as finalidades de teatro e teatro de opera. Segundo CARRION, as principais características seriam a boa distribuição do som, mesmo que exista uma baixa energia associada às primeiras reflexões.



**Figura 9:** Forma ferradura. Fonte: CARRION, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Edicions UPC, 1998

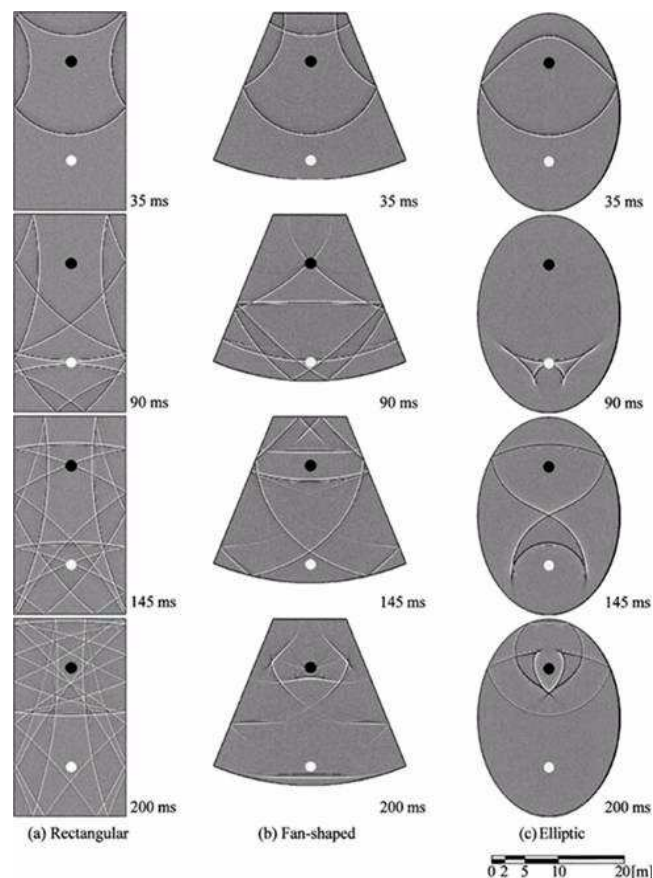
### 4.5. FORMA RETANGULAR

Nesta tipologia, em alguns casos a configuração poderia ter uma relação de proporção (proporção áurea), também conhecido como “shoe-box”. Existem três exemplos de salas, consideradas as melhores do mundo pela sua excelente acústica. As inconveniências deste tipo de configuração de planta retangular, seria o acontecimento de ecos, por consequência das grandes distâncias (comprimento), ou se apresenta a situação de superfícies paralelas muito próximas.

## 5. ANÁLISE DO SISTEMA ACÚSTICO SHOE BOX OU “CAIXA DE SAPATO”

O estilo Shoe Box é uma sala longa, alta e estreita, temos como principais exemplos o Shymphony Hall em Boston, Concertgebouw em Amsterdam, Grosser Musikvereinssaal em Viena e no Brasil a Sala São Paulo. As três medidas, comprimento, altura e largura, são muito importantes, como também a relação entre elas, ou seja, essas medidas não devem ser múltiplas entre si nem deve haver fatores comuns entre elas, elas apresentam um som mais claro, mais distinto, sobretudo na propagação das notas agudas.

A forma retangular, em leque e elíptica são freqüentemente escolhidas no projeto arquitetônico de salas de concerto, estas formas conferem características acústicas variáveis à sala e, portanto, a escolha da forma básica é fundamental não somente do ponto de vista arquitetônico, como também do ponto de vista acústico. A figura 10 apresenta os resultados de simulação da propagação sonora bidimensional através de flashes instantâneos na sala de formato retangular, em leque e elíptico, todas elas sem tratamento de difusão sonora e com a mesma área em planta de aproximadamente 518m<sup>2</sup>.

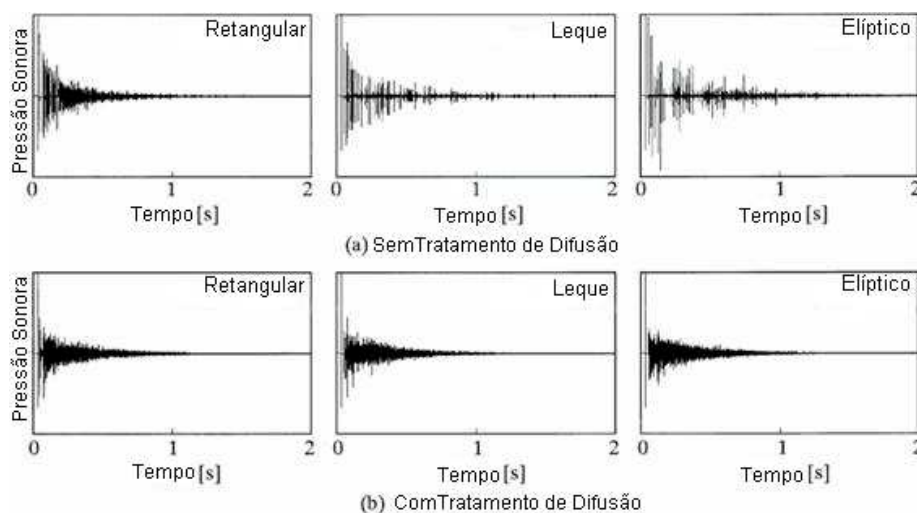


**Figura 10:** Propagação sonora na sala retangular, em leque e elíptica sem tratamento de difusão sonora Fonte: T. YOKOTA, S. Sakamoto and H. Tachibana, “Visualization of sound propagation and scattering in rooms”, Institute of Industrial Science, University of Tokyo.



Nas ilustrações da figura 10, os círculos escuros indicam a posição da fonte e os claros a posição do receptor. Uma análise comparativa destas ilustrações revela que a propagação das frentes de onda é bastante distinta em cada uma das salas. Observa-se claramente, na sala retangular, que o número de frentes de onda aumenta à medida que o tempo avança, enquanto que na sala em leque e elíptica, há uma tendência à concentração, e ao desenvolvimento de frentes de ondas “defeituosas”. (Fonte: T.Yokota)

A figura 11 apresenta as respostas no receptor, em cada uma das salas sem tratamento de difusão sonora. Estes resultados revelam que as reflexões são densas e com decaimento suave no caso da sala retangular, enquanto que as reflexões são esparsas e irregulares nas salas em leque e elíptica. (Fonte: T.Yokota)



**Figura 11-** Respostas impulsivas calculadas nos receptores. Fonte: T. YOKOTA, S. Sakamoto and H. Tachibana, “Visualization of sound propagation and scattering in rooms”, Institute of Industrial Science, University of Tokyo.

## 5.1. PRINCIPAIS EXEMPLOS DE SALAS SHOE BOX:

**5.1.1. Grosser Musikvereinssaal:** Localizado em Viena, Áustria, inaugurado em 1870, com capacidade para 1680 pessoas. É famoso pela sua acústica e está entre os cinco melhores concertos do mundo. O Salão Dourado, ou Salão Principal, mede 48m de comprimento, 19m de largura e 18m de altura.

**5.1.2. Concertgebouw:** Amsterdam, Holanda, construída no ano de 1888, com capacidade para 2206 pessoas. O auditório principal mede 44m de comprimento, 28m de largura, e 17m de altura, o tempo de reverberação é de 2.8 segundos sem público e 2.2 segundos com público, fazendo com que essa seja uma sala ideal para vários tipos de repertório.



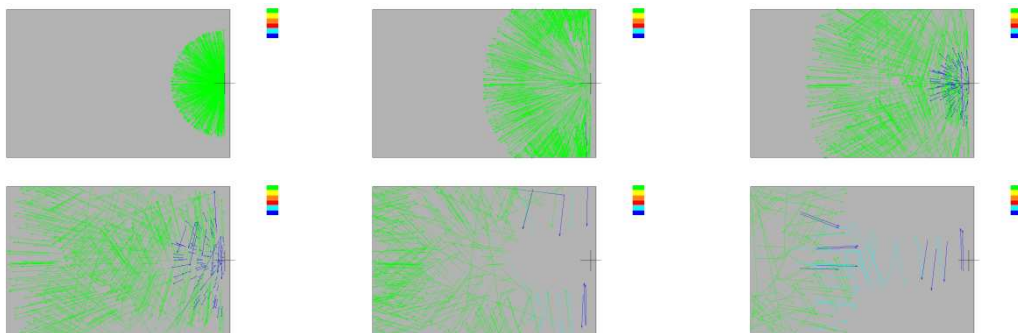


**5.1.3. Shymphony Hall:** Construído em Boston, EUA , em 1900, com capacidade de 2631 lugares. Seu desempenho acústico está entre os três principais do mundo, e é considerado o melhor dos EUA. Esse foi um dos motivos que o levou a ser tombado Patrimônio Histórico dos EUA, em 1999. Mede 18,6m de altura, 22,8m de largura e 48,2m de comprimento.

## 6. SIMULAÇÃO FEITA A PARTIR DO SOFTWARE “ECOTECT”

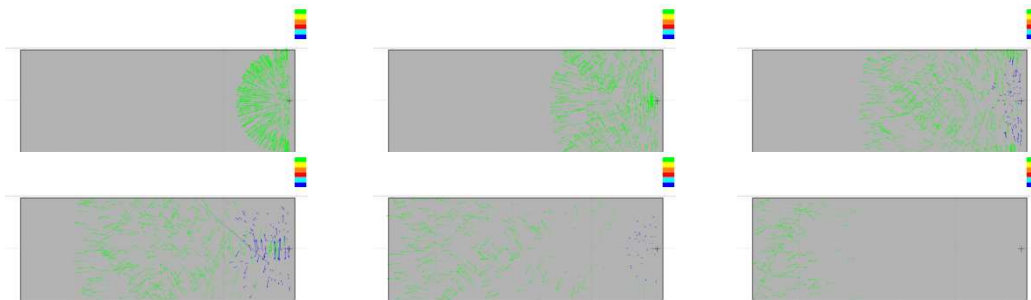
Foram consideradas apenas as dimensões das salas de configuração tipo Shoe-box, citadas anteriormente, uma vez que o estudo se trata sobre a forma. A simulação com o programa Ecotect mostra as primeiras reflexões.

### 6.1. SALA CONCERTGEBOUW



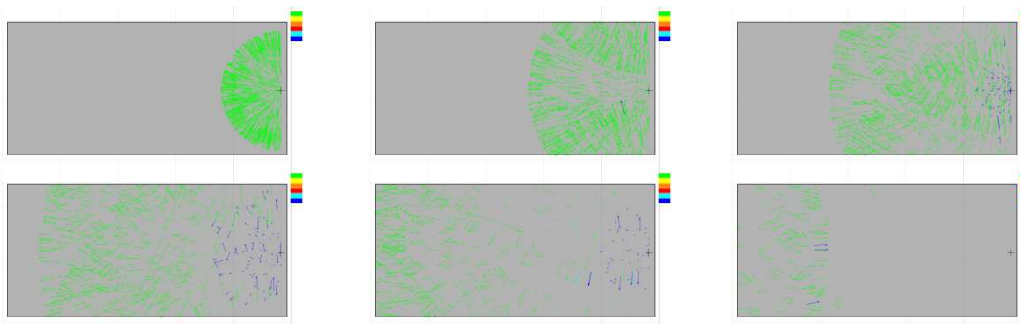
**Figura 12-** Resultados da simulação Ecotect no Concertgebouw, Amsterdam .

### 6.2. GROSSER MUSIKVEREINSSAAL



**Figura 13-** Resultados da simulação Ecotect no Grosser Musikvereinssaal, Viena.

### 6.3. SHYMPHONY HALL



**Figura 14-** Resultados da simulação Ecotect no Shymphony Hall, Boston.

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho, foi de fundamental importância, permitindo ampliar nosso conhecimento na área de Conforto Acústico, mais precisamente no que se refere a forma e arquitetura dos espaços. Foram feitas análises e comparações de espaços internos, bem como o tipo de forma do ambiente. Também foi possível analisar algumas salas de Concerto, consideradas de excelente acústica devido a sua forma “shoe Box”, ou “caixa de sapatos”, analisando algumas das Salas de Concerto consideradas melhores do mundo.

## REFERÊNCIAS

- NBR 12179. Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro: ABNT, abril de 1992. 9p.
- CARRION, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Edicions UPC, 1998
- CARVALHO, R. P. Acústica arquitetônica. Brasília: Thesaurus, 2006
- ARAU, H. ABC de la acústica arquitectonica. Barcelona: CEAC, 1999.
- DE MARCO, Conrado S. Elementos de Acústica Arquitetônica. São Paulo: Nobel, 1982.
- CARVALHO, Benjamin de a. Acústica Aplicada à Arquitetura. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1967.
- T. YOKOTA, S. Sakamoto and H. Tachibana, “Visualization of sound propagation and scattering in rooms”, Institute of Industrial Science, University of Tokyo.
- [http://www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/ACUSARQ/ACUSARQ\\_CNPq.pdf](http://www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/ACUSARQ/ACUSARQ_CNPq.pdf); acessado em 05 Junho de 2011