



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

RELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS ACÚSTICOS E CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS DE SALAS DE CONCERTO APLICANDO O MÉTODO DA SÍNTESE DA FORMA.

Vanessa F.M.Takahashi (1); Stelamaris Rolla Bertoli (2).

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, takahashi.van@gmail.com

(2) PhD, Professora do Departamento de Engenharia Civil, rolla@fec.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, Cx Postal 6021, Campinas-SP, Tel.: (19) 3521-2314

RESUMO

O artigo apresenta as relações das características arquitetônicas com a qualidade sonora da sala de concerto da Filarmônica de Berlim. O estudo dessas relações foi feito por meio do método da *síntese da forma* proposto por Alexander (1977). A utilização desse método como uma ferramenta de análise procura compreender as soluções adotadas por cada projetista no desenvolvimento do projeto, e com isso otimizar o processo de projeto, tornando-o mais claro e menos dependente da tentativa e erro. Por meio dessa metodologia conseguiu-se estabelecer uma hierarquia de relações e de dependência das características do projeto arquitetônico da Filarmônica de Berlim. O resultado dessa hierarquia permitiu entender como o projeto se articula e como uma determinada característica arquitetônica influi no resultado da acústica da sala. Essa otimização do processo de projeto busca melhorar o diálogo e o desempenho da equipe envolvida no projeto, assim como evitar erros dispendiosos já que o processo se torna mais transparente. Esse artigo é parte dos resultados da dissertação “Influência das características arquitetônicas na qualidade acústica de salas de concerto” que estendeu o método para outras salas.

Palavras-chave: Sala de concerto, Método de projeto, Acústica.

ABSTRACT

The paper presents the relationship of architectural features with the acoustic quality of the Berlin Philharmonic concert hall. The study of these relations was made by the method notes on the synthesis of form proposed by Alexander (1977). The use of this method as a tool of analysis seeks to understand the solutions adopted by each designer in the project development, and thereby optimize the design process, making it clearer and less dependent on trial and error. Through this methodology can be had a hierarchy of relationships and dependency of the characteristics project of Berlin Philharmonic concert hall, knowing how the project is articulated and how a particular architectural feature affects the acoustical room. This optimization of the project seeks to improve dialogue and performances of the team involved in the project, as well as avoid costly mistakes as the process becomes more transparent. This paper is part of the results of the dissertation "Influence of architectural features in the acoustic quality of concert halls." that extended the method to other rooms.

Keywords: Concert hall, Design Methods, Acoustics

1. INTRODUÇÃO

Salas de concerto são ambientes que primam por uma qualidade sonora e suas características arquitetônicas influenciam seu desempenho acústico. Essas salas devem atender requisitos específicos para uma acústica adequada e ter condições estruturais que permitam ao som se propagar em todo o ambiente, de forma uniforme e clara, bem definido em suas características e preservado em sua forma original.

Segundo Barron (1993) em cada período da história a música (barroca, gótica, clássica, popular e outras) foi concebida para ser executada em um tipo de espaço, ou seja, com características diferentes, por exemplo, de reverberação. Muitas vezes os compositores criavam peças musicais pensando em um ambiente específico para a sua execução, um reflexo do desejo desses compositores obterem uma magnitude sonora com sua obra. Segundo Beranek (2004), a qualidade acústica das salas de concerto depende de vários fatores como: tamanho, materiais absorventes, refletores e difusores, irregularidades das paredes e do teto, balcões, quantidade de pessoas presentes, controle do ruído, e principalmente da geometria e volumetria. Por isso é importante que conceitos de arquitetura e de acústica formem um único corpo; de forma que a arquitetura possa determinar a qualidade acústica desses espaços.

Para avaliar a qualidade acústica dessas salas foram criados diversos parâmetros objetivos e atributos subjetivos que buscaram relacionar acusticamente a orquestra, o público e a sala. Segundo Passeri (2008), os parâmetros objetivos da qualidade sonora de salas são definidos como índices numéricos mensuráveis que estão correlacionados com atributos subjetivos e podem descrever as qualidades acústicas de ambientes, reais ou virtuais. Beranek (2004) apresenta alguns atributos subjetivos considerados por ele essenciais para a qualidade acústica de uma sala de concerto e que estão relacionados a parâmetros objetivos, são eles: vivacidade, calor, brilho, clareza, intimidade, audibilidade, impressão espacial e envolvimento.

Siebein e Kinzey (1999) apontam que pesquisas na área das relações dos parâmetros de qualidade acústica e características físicas da sala são essenciais para a continuidade da melhoria do desempenho acústico e do processo de projeto de salas de concerto. Muitas pesquisas na área de acústica de salas de concerto têm diminuído o risco de erros no projeto, mas ainda não o eliminou completamente (MARSHALL, KLEPPER, 1999). A concepção das salas é parte primordial quando se fala em qualidade acústica e deve vir associada a uma metodologia projetual onde parâmetros acústicos possam ser utilizados como requisitos fundamentais à criação arquitetônica, facilitando a relação acústica-arquitetura.

O método apresentado nesse trabalho como uma ferramenta de análise dos projetos da sala de concerto busca estudar as relações existentes entre as características arquitetônicas e a acústica da sala, estruturando requisitos funcionais do projeto e verificar como a *forma* (resultado do processo de projeto) responde a um determinado contexto. Tendo conhecimento de como o projeto se articula, ou seja, como uma característica do contexto influi na *forma* pode-se alterar somente uma pequena parte do projeto sem necessidade de alterar o todo e com isso otimizar o processo de um novo projeto ou de uma reforma.

Um papel importante da metodologia é tornar o processo de projeto transparente, ou seja, toda equipe possa saber o que está acontecendo e contribuir com informações e ideias que estão fora do conhecimento e experiência do projetista. O alto custo de erros de projeto, particularmente em casos de sistemas complexos, é um forte incentivo para externalizar o pensamento de projeto porque somente dessa maneira o pensamento pode ser submetido a crítica e ao teste antes que erros dispendiosos sejam cometidos (JONES, 1969).

O método proposto por Alexander em "*Notes on the synthesis of form*" descreve um modo de representar um problema (ou um projeto) de maneira que fique mais fácil sua resolução, reduzindo a lacuna entre a pequena capacidade do projetista e o grande tamanho e complexidade de seu trabalho (ALEXANDER, 1977). O método colabora para uma maior clareza nas decisões de projeto a serem tomadas, a partir da análise de requisitos funcionais de um projeto. É um processo que dá ênfase na extensiva exploração e análise do problema para identificar todos os fatores intrínsecos, seguido pelo estabelecimento de interconexões entre os fatores, de modo a identificar todos os subproblemas e a partir disso desenvolver uma série de soluções possíveis que podem ser combinadas de diferentes formas e sintetizada numa solução global.

O processo da síntese da *forma* procura identificar e projetar um "componente físico", ou seja, parte de uma estrutura física maior, que pode ser um edifício numa cidade ou partes do edifício. Esses componentes devem ser independentes para que possam ser alterados, modificados ou corrigidos, sem modificar o desempenho de outros elementos. Para identificar esses componentes, Alexander utilizava o computador para determinar o grau de independência entre eles (MOREIRA, 2007).

Conceitos dessa metodologia podem ser aplicados no projeto arquitetônico descrevendo a concepção dos espaços físicos. Esses conceitos são: *forma*, *contexto*, *conjunto*, *ajuste*. A *Forma* é o resultado do

processo de projeto. Os problemas são identificados como requisitos funcionais e que a forma deverá responder. O *Contexto* é a situação que envolve o projeto e o ambiente em que ele está inserido. Podem ser características geográficas, culturais, preferências dos usuários. O *Conjunto* é constituído pela *forma* mais o *contexto*. O *Ajuste* é a adequação da *forma* ao *contexto*. Um conjunto bem ajustado significa que a *forma* responde eficientemente ao *contexto*.

Para solucionar conflitos que surgem quando partes do conjunto começa a interferir na função de outras partes, Alexander propôs decompor esse conjunto em subsistemas independentes. Cada subproblema passa a ter então sua independência dos outros subproblemas e podem ser resolvidos independentemente, ou seja, se houver uma alteração do *contexto* não será necessário alterar toda a *forma* (ALEXANDER, 1977).

A cada decomposição adequada a resolver aquele problema Alexander (1977) se refere como *programa*. Esse *programa* é uma atividade analítica e fornece indicações ou instruções para o projetista, como a divisão em subconjuntos buscando elementos principais, assim como os principais aspectos do problema que ele deve resolver. O *programa* é uma estrutura hierárquica que traduz dados do *contexto* em requisitos funcionais e que vai permitir uma projeção futura, ou seja, o programa é então uma análise do *contexto*, aonde os problemas vão sendo subdivididos em partes menores para posteriormente serem solucionados em suas pequenas partes através de diagramas que vão se reagrupando num processo de síntese para dar origem ao projeto. Esses dados podem ser estruturados em gráficos em formas de árvores. Colocar os dados do contexto, traduzidos em requisitos funcionais, num gráfico desses é conseguir uma estrutura racional, organizada e identificar suas ligações mais importantes. Assim o sistema (totalidade de dados coletados do contexto) poderá ser analisado para identificar seus subsistemas e a independência entre eles. Cada ramo do gráfico em árvores pode ser visto como um subconjunto (MOREIRA, 2007).

Para fazer a divisão dos requisitos funcionais em subconjuntos, Alexander propõe uma análise matemática que identifica os subconjuntos mais importantes e com menor grau de ligação e divide em dois, dependendo da quantidade de ligações existentes em cada subconjunto. Esses sistemas são razoavelmente independentes. Essa decomposição hierárquica de sistemas é feita através de um programa de computador: denominado HIDECS (*Hierarchical Decomposition of Systems*).

O programa computacional HIDECS foi desenvolvido por Alexander e reconstituído por Moreira (2007) em sua tese de doutorado a partir de relatórios de pesquisa de Alexander, publicados em 1963. Os relatórios continham os procedimentos de cálculo utilizados para fazer a decomposição de sistemas da segunda versão do programa (HIDECS 2). Como coloca Moreira (2007), a importância dessa decomposição é que se o programa conseguir identificar subsistemas independentes, uma alteração do contexto ou um problema de desempenho do edifício poderá ser solucionado sem que outros subsistemas tenham que ser modificados.

O desafio desse trabalho é investigar se o método proposto por Alexander para desenvolver projetos complexos como por exemplos os arquitetônicos pode ser aplicado para análise acústica de projetos de salas de concerto.

2. OBJETIVO

O objetivo geral da pesquisa é relacionar as características arquitetônicas com os parâmetros de qualidade acústica de salas de concertos, por meio da aplicação de uma metodologia projetual que identifique elementos fundamentais do projeto da sala e a qualidade acústica do ambiente.

3. MÉTODO

O objetivo da aplicação do método da síntese da *forma* é o de analisar o projeto arquitetônico através de um contexto que é descrito em requisitos funcionais e identificar a origem das soluções geradas por cada requisito, a *forma*, identificando quais as características das salas que são mais independentes e com maior importância. Para a aplicação do método foi escolhida a sala de concerto da Filarmônica de Berlim. A escolha da sala foi feita baseado na quantidade de informações do processo de projeto, das características arquitetônicas, construtivas e medições acústicas a partir de referências importantes na literatura da acústica arquitetônica como Beranek (2004), Long (2006), Ishikawa (1997), Barron (1993).

O estudo foi realizado em três etapas. A primeira etapa consistiu no levantamento de dados feitos a partir de referências da acústica arquitetônica. Nessa etapa foram levantadas informações do processo de projeto, das características arquitetônicas, construtivas e medições acústicas.

Na segunda etapa foi realizada a organização desses dados segundo uma estrutura proposta por Alexander e descrita por Jones (1976) para posterior aplicação do método da síntese da forma. Essa estrutura se baseava em dois pontos: (1) Identificar todos os requisitos que influem na forma física de uma estrutura e (2) Decidir se existe independência ou dependência entre cada par de requisitos e registrar cada escolha numa matriz de interações. Para essa etapa foi utilizada uma base de dados programado em Microsoft Access, chamada SINFORMA e desenvolvida por Moreira (2007). Essa base está dividida em três partes: a primeira reúne informações sobre o projeto, a segunda relaciona as informações e a terceira classifica os dados. Moreira (2007) ressalta que o usuário do programa é responsável pela inserção de dados, e da decisão de como eles se relacionam.

A interface do SINFORMA é dividida em três regiões. A primeira onde o usuário insere dados do contexto, na segunda insere se os dados dos requisitos funcionais e na terceira região são inseridos os dados da *forma*.

Traduzindo os conceitos da síntese da *forma* para a análise das salas de concerto tem-se:

- **contexto**, como os atributos subjetivos, ou seja, quais são as sensações que o projetista quer passar aos usuários,
- **requisito funcional** serão os aspectos que o projeto deverá responder;
- **forma** serão as soluções encontradas pelos projetistas.

As propriedades da *forma* são definidas durante o projeto e os requisitos funcionais registram os objetivos e as origens de cada solução.

No caso de uma sala de concertos, por exemplo, pode-se dizer que a planta de uma sala com palco no centro, ou a distância entre plateia e orquestra menor que 30 metros poderiam responder a um requisito funcional, como aproximar a plateia da orquestra, traduzido pelo contexto do atributo subjetivo da intimidade na sala.

A terceira etapa do estudo da sala de concerto é a decomposição da matriz de relações entre requisitos funcionais geradas pela base de dados em conjuntos que estejam internamente conectados por meio do programa de computador HIDECS.

O programa de computador utiliza o arquivo *.txt* gerado pela base de dados do SINFORMA com a relação entre todos os requisitos funcionais e divide esse conjunto sempre em dois subconjuntos (A e B). As divisões que ocorre vão transformando o sistema em subsistemas independentes até que não possam ocorrer mais. Segundo Moreira (2007) isso acontece porque o sub-módulo HIDECS esgota todas as possibilidades de divisão do conjunto de ligações entre requisitos funcionais, encontrando a divisão que retorna o menor valor para a equação utilizada pelo programa, ou seja, seleciona a divisão que apresenta o melhor fator de independência.

A partir dessas divisões podem-se analisar os subgrupos formados e sua hierarquia, qual sua proximidade com os outros grupos e qual o fator em comum entre eles. Como aponta Moreira (2007) o projetista deve considerar que esses subsistemas são sobrepostos, ou seja, os subconjuntos menores encontrados pelo programa estão contidos em subconjuntos maiores, compondo um sistema maior e completo.

3.1 Descrição da sala - Filarmônica de Berlim

A sala de concerto da Filarmônica de Berlim é obra do arquiteto Hans Scharoun e inaugurada em 1962 na Alemanha. A ideia inicial do arquiteto era colocar a plateia em volta da orquestra, remetendo aos círculos de pessoas que se formam em volta do músico para se escutar uma música informalmente. Essa ideia foi contestada pelo seu consultor acústico Lothar Cremer, mas que por insistência do arquiteto acabou aceitando o desafio de fazer dessa sala inovadora uma sala com uma ótima acústica. Barron (1993) coloca que as duas grandes preocupações no projeto da sala de Berlim eram em relação à direcionalidade dos instrumentos e as superfícies necessárias para refletir os sons iniciais.

Beranek (2008) descreve algumas orientações iniciais do consultor acústico ao arquiteto foram: tentar desenvolver características arquitetônicas que maximizassem a qualidade acústica de um som envolvente na sala, para isso ele planejou o volume para alcançar um tempo de reverberação que se aproximava dos valores encontrados nas salas de concerto da Europa, em torno de 1,9 s e também que o público fosse dividido em blocos envoltos por parede, ou seja, essas paredes poderiam refletir o som inicial nas posições dos ouvintes. Além disso, o teto foi desenvolvido para refletir o som inicial.

O local de implantação da Filarmônica de Berlim fica no centro cultural de Berlim. Apesar de o terreno ser rodeado por grandes avenidas, elas não possuem tráfego intenso. O edifício apresenta recuos

grandes para proteção acústica. Além disso, tanto a sala de concerto (sala principal) que será analisada neste trabalho, quanto à sala de música de câmara estão envolvidas e protegidas pelas outras partes do edifício.

A sala principal possui capacidade para 2.218 pessoas, sendo 250 atrás do palco, 300 em cada lado e 1368 na frente do palco, com volume de 21.000m³. Nenhum espectador fica a mais de 30 metros do palco. A plateia está dividida em blocos e as partes frontais desses blocos fornecem reflexões iniciais tanto para a plateia principal quanto para o palco. A figura 1 mostra a vista interior da sala de concerto da Filarmônica de Berlim. A plateia localizada na parte posterior do palco apresenta alguns problemas com a sonoridade de alguns instrumentos devido à direcionalidade deles, mas segundo alguns acústicos, isso é compensado pela vista de se estar frente a frente com o maestro. A figura 2 apresenta o formato da sala em planta e a figura 3 o corte esquemático da sala por meio delas pode-se ver a divisão da plateia em blocos.



Figura 1- Vista da sala de concertos
Fonte: Berliner Philharmoniker, 2010

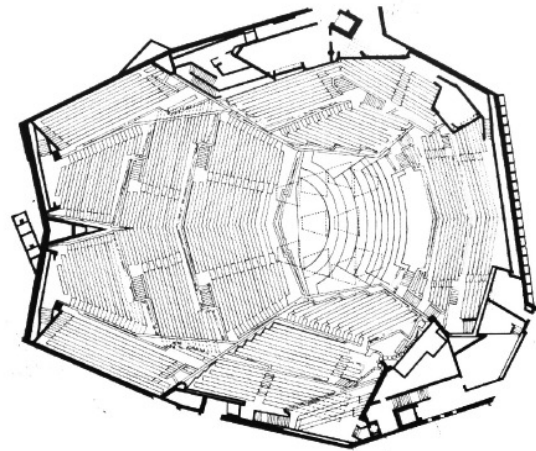


Figura 2- Planta esquemática da Filarmônica de Berlim
Fonte: Beranek, 2004

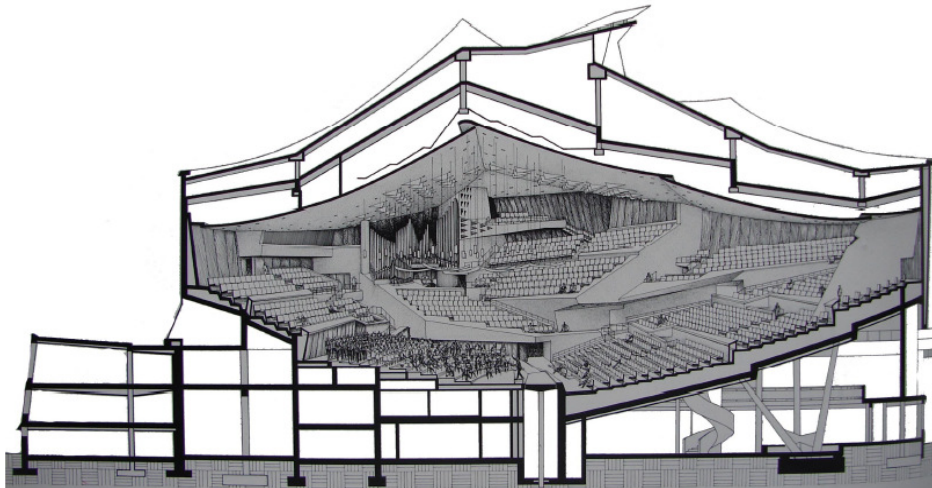


Figura 3- Corte esquemático da Filarmônica de Berlim
Fonte: Beranek, 2004

O palco tem piso de madeira, altura de 76 cm e paredes laterais arranjadas para refletir o som de volta para os músicos. A inclinação e altura dos degraus dos patamares do palco foram determinadas acusticamente (Figura 4). Outra característica do palco é a flexibilidade dos patamares do palco, uma importante preocupação do arquiteto, que procurou criar um espaço apropriado para apresentações de música contemporânea. Segundo Beranek (2008) a escolha do revestimento para as paredes do palco foi baseada em determinações acústicas dadas por Cremer e Scharoun. As paredes de madeira Kambala perfurada com orifícios minúsculos são fixadas a um suporte absorvente, a fim de eliminar os efeitos de eco em uma parte do palco.

As cadeiras possuem alturas variadas do encosto e do tecido que cobre os assentos e absorve o som. Ambas as soluções são destinadas a reduzir a diferença acústica devido à variação do número de pessoas entre os ensaios e os concertos.

No teto, o forro suspenso é de gesso. A altura do teto foi determinada de acordo com a exigência acústica de 10 m³ de espaço aéreo por assento. Sua forma é uma reminiscência de uma tenda com os seus três arcos abobadados convexo que garante uma difusão uniforme do som. Sobre o palco da orquestra existem dez painéis trapezoidais de poliéster com 7.5m² cada, com 50% de área livre entre eles, variável em altura de 10 a 12m que servem como refletores, permitindo que os músicos ouçam melhor uns aos outros. O teto também apresenta 136 pirâmides que servem como ressonadores para controlar os sons graves. O conjunto dessas 136 pirâmides também funciona como um painel difusor. A figura 5 mostra a vista do teto da sala de concerto da Filarmônica de Berlim.

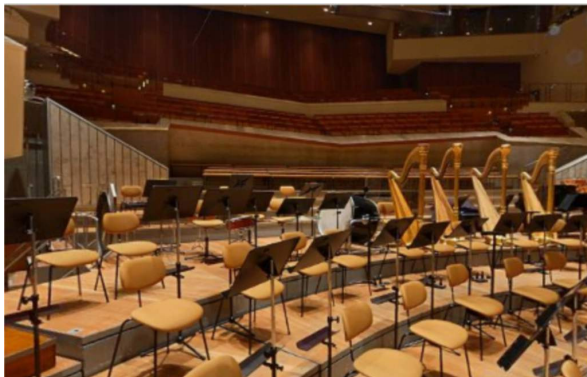


Figura 4- Vista do palco

Fonte: Berliner Philharmoniker, 2010

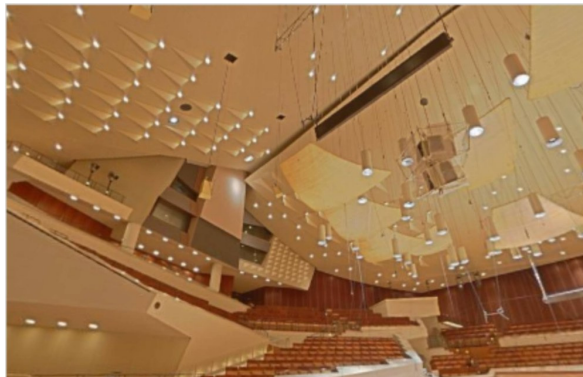


Figura 5- Vista do teto da sala de concertos

Fonte: Berliner Philharmoniker, 2010

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise do projeto da sala da Filarmônica de Berlim resultou em parte dos requisitos funcionais, principalmente em decorrência da descrição da *forma*, e outra parte foi identificada no processo de projeto descrito por Beranek (2008). A partir disso foram estabelecidos e listados o *contexto* (representado por parâmetros subjetivos e o que se espera do desempenho da sala), os *requisitos funcionais* (a tradução desse contexto) e a *forma* (características físicas da sala que respondem ao *contexto*). Abaixo é apresentado um panorama geral desses princípios da síntese da forma: *contexto*, *requisito funcional* e *forma* obtidos na organização dos dados do estudo de caso da Filarmônica apresentando 11 contextos, 26 requisitos funcionais e 32 formas.

Contexto

C1-Intimidade; C2-Envolvimento; C3-Clareza; C4-Vivacidade; C5-Audibilidade; C6- Calor; C7- Brilho; C8-Espacialidade; C9- Conjunto; C10- Localização da fonte sonora; C11-Ruído de fundo.

Requisito Funcional

R1-Estabelecer um senso de proximidade com a fonte. Aproximar a plateia da orquestra; R2- Fazer com que o tempo entre o som que chega diretamente na plateia e sua primeira reflexão seja curto; R3- Propiciar que as reflexões iniciais cheguem logo após o som direto; R4- Plateia receba o som na direção lateral nos primeiros 80ms; R5- Propiciar a difusão do som; R6- Dar a plateia noção de intensidade sonora; R7- Propiciar a reflexão do som; R8-Prolongar o tempo de decaimento sonoro na sala; R9- Fazer com que a sala tenha dimensões “pequenas”; R10- Propiciar a absorção sonora; R11- Propiciar a adequada coloração; R12- Garantir que a plateia perceba os sons graves; R13- Garantir que a plateia perceba os sons agudos; R14-Criar na plateia sensação acústica espacial do ambiente; R15- Fazer com que os músicos possam se escutar; R16- Garantir uma linha de visão entre fonte e receptor; R17- Colocar elementos que possam atenuar a transmissão de energia de um ambiente para outro; R18- Tamanho aparente da fonte seja adequado (*Apparent Source Width*); R19- Manter o mínimo de pessoas atrás da orquestra; R20- Implantação em local

não muito ruidoso; R21- Reduzir a discrepância entre a acústica da sala com sala cheia nos concertos e vazias nos ensaios; R22- Flexibilidade para atender músicas contemporâneas; R23- Fazer que os sons dos instrumentos não atrapalhem os outros músicos; R24- Ter um adequado volume por pessoa; R25- Ter local para o coro; R26- Eliminar os efeitos de eco em uma parte do palco.

Forma

F1- Planta com palco no centro; F2- Distância entre orquestra e plateia menor que 30 metros; F3- Plateia e orquestra no mesmo volume; F4- Máximo de 270 lugares atrás da orquestra; F5- Plateia dividida em blocos (vinhas); F6- Textura nas superfícies da sala; F7- Forro suspenso de gesso sobre metal expandido; F8- Pannel suspenso sobre palco; F9- Paredes laterais: Fina madeira; F10- Parapeitos: Jurassic Limestone Plaster; F11- Piso da audiência de parquet sobre base de asfalto; F12- Capacidade de 2218 lugares; F13- Alturas variadas do encosto e do tecido absorvente que cobre a parte inferior dos assentos; F14- Ressonadores no teto em forma de pirâmide; F15- Parede ao lado do palco: disposta para refletir o som aos músicos; F16- Palco de madeira; F17- Materiais construtivos pesados; F18- Paredes com diferentes ângulos; F19- Inclinação adequada das fileiras; F20- Difusores no teto em forma de pirâmide; F21- Recuos grandes, vias não muito ruidosas; F22- A flexibilidade do palco; F23- A inclinação e altura dos degraus e trilhos do palco; F24- A altura do teto foi determinada de acordo com a exigência acústica de 10m³ de espaço aéreo por assento; F25- A forma do teto, uma reminiscência de uma tenda com os seus três arcos abobadados convexos; F26- As paredes de madeira Kambala perfurada com orifícios minúsculos são fixados a um suporte absorvente a fim de eliminar os efeitos de eco em uma parte do palco; F27- Refletores no teto em forma hexagonal; F28- Protegido internamente por antecâmaras; F29- Área do palco= 172,5m²; F30- Distância entre paredes da plateia principal =42,7m; F31- Volume=21.000m³; F32- Grande Jardim

Os dados do contexto são ligados aos dados dos requisitos funcionais, onde uma determinada condição do projeto é traduzida funcionalmente segundo a interpretação das autoras. A tabela 1 apresenta todas as relações entre requisito funcional, forma e contexto, mostrando que um requisito funcional pode estar ligado a várias formas e contexto ao mesmo tempo. A tabela 2 mostra as associações entre os 26 requisitos funcionais que caracterizam o contexto do projeto da sala de concertos de Berlim. Os números 1 e 0 indicam respectivamente se existe ligação ou não entre os requisitos e identificados pela abreviação RF (Requisito Funcional) num total de 26 (linhas e colunas). Por exemplo: numa sala de concerto existe a necessidade da plateia estar imersa no campo sonoro descrito como o atributo subjetivo de envolvimento (C2). Traduzindo funcionalmente esse contexto pode se dizer que para obter esse envolvimento é necessário que a plateia receba o som na direção lateral nos primeiros 80ms (R4), e também que ocorra a difusão sonora (R5). As soluções adotadas pelo projetista para responder ao requisito funcional 4 (R4) seriam elementos que favorecessem esse tipo de evento como dividir a plateia em blocos (F5), e ter materiais na paredes em torno da plateia que permita a reflexão sonora (F9, F10). Assim como a *forma* 5, 9 e 10 (F5, F9, F10) responde ao requisito 4 (R4) elas também podem estar relacionadas ao requisito 3, 7, 8,14 e 15 requisitos funcionais referentes a reflexões sonoras ocasionadas pelas paredes que dividem a plateia.

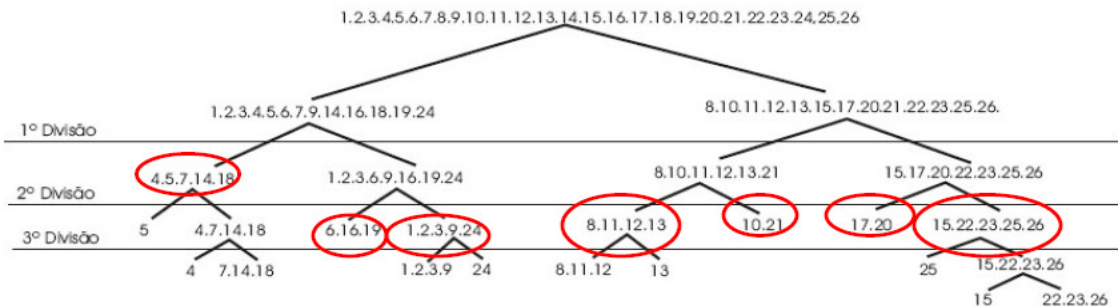


Figura 6- Diagrama em árvore dos requisitos funcionais

A figura 6 apresenta os resultados obtidos na decomposição em subgrupos dos 26 *requisitos funcionais* que possuíam 58 ligações através do sub-módulo HIDECS em forma de diagrama de árvore. Nessa divisão, pode-se observar a relação hierárquica entre os *requisitos funcionais* do estudo de caso proposto, onde foram encontrados sete subsistemas independentes (marcados com símbolo vermelho) e sem

relacionado às reflexões iniciais na direção lateral e pela difusão sonora provenientes respectivamente das paredes que envolvem os blocos da plateia e pelos elementos difusores como o painel de pirâmides no teto.

Tabela 3-Subgrupos formados.

R1- Estabelecer senso de proximidade com a fonte. Aproximar a plateia da orquestra R2- Fazer com que o tempo entre o som que chega diretamente na plateia e a sua primeira reflexão seja curto. R3- Propiciar que as reflexões iniciais cheguem logo após do som direto. R9- Fazer com que a sala tenha dimensões “ pequenas” R24- Ter um adequado volume por pessoa	A
R4- Plateia receba o som na direção lateral nos primeiros 80ms. R5- Propiciar a difusão do som. R7- Propiciar a reflexão sonora. R14- Criar na plateia uma sensação acústica espacial do ambiente R18- Tamanho aparente da fonte seja adequado(Apparent Source Width)	B
R8- Prolongar o tempo de decaimento sonoro na sala. R11- Propiciar a adequada coloração R12- Garantir que a plateia perceba os sons graves R13- Garantir que a plateia perceba os sons agudos	C
R10- Propiciar a absorção do som R21- Reduzir a discrepância entre a acústica da sala cheia nos concertos e vazia nos ensaios	D
R6- Dar a plateia a noção de intensidade sonora. R16- Garantir uma linha de visão entre fonte e receptor R19- Manter o mínimo de pessoas atrás da orquestra	E
R15- Fazer com que os músicos possam se escutar R22- Flexibilidade para atender música contemporânea R23- Fazer com que o sons dos instrumentos não atrapalhem os outros músicos. R25- Ter local para o coro R26- Eliminar os efeitos do eco em uma parte do palco	F
R17- Colocar elementos que possam atenuar a transmissão de energia de um ambiente para o outro R20- Implantação num local não muito ruidoso	G

Os grupos A, B e E, descendem de um mesmo grupo como podemos observar na figura 3. Observa-se que o fator de proximidade entre esses três grupos está relacionado às reflexões iniciais, favorecida pelas paredes que envolvem a plateia e pelas curtas distâncias que o som tem que percorrer. Os subgrupos C e D têm sua origem funcional no prolongamento do som na sala e nos ajustes para se conseguir um adequado tempo de reverberação. O grupo C está relacionado ao modo de como se controla a coloração no ambiente através de materiais absorventes contidos no projeto arquitetônico da sala e de como a reverberação também mudará em função das escolhas desses materiais. Essa coloração vai influir no modo em que o ouvinte percebe tanto os sons graves quanto os agudos durante a apresentação na sala. Já o grupo D está relacionado a possibilidade de se deixar o Tempo de Reverberação da sala igual estando a sala vazia ou cheia. O subgrupo F está relacionado a propriedades da área de apresentação (palco) que vai influenciar na percepção dos músicos. E o subgrupo G tem sua origem na interferência de ruídos externos nas apresentações.

5. CONCLUSÕES

O método proposto por Alexander e apresentado neste trabalho originalmente não era específico para uma análise acústica de salas, mas sim um método para desenvolvimento de projetos complexos. Contudo a aplicação desse método como uma ferramenta de análise da acústica de salas de concerto e realizados no estudo de caso da Filarmônica de Berlim mostraram resultados interessantes, identificando elementos fundamentais do projeto arquitetônico que contribuíram para compreender as soluções adotadas por cada projetista. Os resultados da aplicação do método foram bastante interessantes e estendidos para outras salas de concerto conforme pode ser visto em Takahashi (2010). A análise do projeto, inserção e relação de dados

são estabelecidas pelos usuários do programa, portanto podem ter um caráter subjetivo, isso vem sendo alvo de estudos mais específicos.

O método permitiu identificar subgrupos que continham elementos que estavam mais conectados entre si e com menor grau de ligação com outros subgrupos, ou seja, formavam grupos menos dependentes uns dos outros. É importante se ter a visão do sistema como um todo, porque muitas vezes as redes de ligações dos elementos do projeto são tão complexas que o projetista é incapaz de percebê-las. Vale lembrar que nesse trabalho foram analisadas somente questões relacionadas à acústica das salas e que ao se introduzir outras questões de projeto como iluminação, circulação, conforto térmico, prevenção contra incêndio, entre outros, as relações ficam muito mais complexas.

No estudo de caso obteve-se a formação de subgrupos a partir da decomposição dos requisitos efetuados pelo programa HIDECS com características acústicas similares. Por meio dessa divisão pode-se observar a relação hierárquica entre os requisitos funcionais do estudo de caso através do diagrama de árvore. Essa relação mostrou proximidade em alguns subgrupos que descendiam de um mesmo grupo, o que indica um fator comum a esses grupos.

A relação hierárquica, obtida pela divisão empregando programa de computador HIDECS, também apresentou uma previsão de quais qualidades acústicas podem ser alteradas se houver uma mudança do *contexto* ou na *forma*. Ao alterar alguma propriedade da sala pode-se ter ideia da mudança no comportamento acústico da sala como um todo. Se quisermos, por exemplo, alterar qualidade acústica relacionada à questão do intimismo na relação público e apresentação, pode-se alterar as características da sala relacionadas àquele grupo de requisitos funcionais. Ao fazer isso é necessário analisar se essa mudança também vai alterar os grupos com maior proximidade por meio de requisitos funcionais comuns ou que descendam do mesmo grupo.

A aplicação do método no projeto de salas de concerto contribuiu para uma reflexão de como as questões acústicas podem ser incorporadas no processo de projeto principalmente em relação à percepção da qualidade sonora pelas pessoas que se utilizam da sala, despertando a consciência de que todos os elementos da sala contribuem de alguma forma para uma experiência multissensorial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, C. **Notes on the synthesis of form**. Cambridge: Harvard University Press, 1977.
- BARRON, Michael. **Auditorium Acoustics and Architectural Design**. London: E & FN SPON, 1993.
- BERANEK, L.L. **Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture** (2nd ed.). Bolt, Beranek e Newman, Cambridge, MA (2004).
- BERANEK, L.L. **Concert Halls -2008**. Cambridge. J. Audio Eng. Soc., Vol. 56, No. 7/8, Cambridge, EUA, 2008. Disponível em: www.leoberanek.com/pages/concerthalls2008.pdf. Acessado em 05 de março de 2009.
- BERLINIER PHILHARMONIKER, <http://www.berliner-philharmoniker.de/en/>. Acessado em 10 de fevereiro de 2011
- ISHIKAWA, Tsuneo. **Architectural Drawings of Hans Scharoun**. Maebashi Institute of Technology, 1997.
- JONES, J.C. *Metodos de disenõ*. Barcelona: Gustavo Gili, 1976. [Trad. Maria Luisa López Sardá, *Design Methods: Seeds of human futures*, 1970] *apud* MOREIRA, Daniel Carvalho. **Os princípios da síntese da forma e a análise de projetos arquitetônicos**. Campinas, 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.
- JONES, J.C. The state of the art in design methods. In Broadbent, G. & Ward (eds.), A. **Design methods in architecture**. London: Lund Humphries, (for the Architectural Association), 1969.
- LONG, Marshall. **Architectural Acoustics**. California: Elsevier Academic Press, 2006.
- MARSHALL, L.G.; KLEPPER, D.L. **Acoustical design: places for listening**. In: *Architectural acoustics: principles and practice* (edited by William Cavanaugh e Joseph Wilkes), John Wiley e Sons, Inc., New York, NY, pp 151-186 (1999).
- MOREIRA, Daniel Carvalho. **Os princípios da síntese da forma e a análise de projetos arquitetônicos**. Campinas, 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.
- PASSERI, Lineu. **Subsídios para o projeto de teatros e auditórios multifuncionais: recursos de variabilidade acústica**. São Paulo, 2008. Tese (Doutorado em Arquitetura)-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- SIEBEIN, G.W. ; KINZEY Jr., B.Y. **Recent innovations in acoustical design and research**. In: *Architectural acoustics: principles and practice* –ed. by William Cavanaugh e Joseph Wilkes, John Wiley e Sons, Inc., New York, NY, pp 233-304 (1999).
- TAKAHASHI, Vanessa F.M. **Influência das características arquitetônicas na qualidade acústica de salas de concerto**. Campinas, 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil)- Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à CNPq pelo apoio financeiro a este trabalho e a Filarmônica de Berlim por conceder o uso das imagens do trabalho.