

TEORIA x PRÁTICA: ANÁLISE DA ACÚSTICA ARQUITETÔNICA DE UM TEATRO DE ÓPERA

Roberta Smiderle (1); Rafaella Estevão da Rocha (2); Alexandre V. Maiorino (3)

(1) arquiteta, mestre em acústica arquitetônica, ro.smiderle@gmail.com

(2) arquiteta, doutoranda em acústica arquitetônica, rafaellaestevao@yahoo.com.br,

(3) músico, doutorando em acústica arquitetônica, alexmaiorino@hotmail.com

Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo –
Avenida Albert Einstein, 951, Barão Geraldo, Campinas – SP, CEP 13083-970, Caixa Postal 6021,
Tel.: +55 19 35212382

RESUMO

Da concepção de um projeto arquitetônico à sua execução, fatores como condições legislativas, ambientais, geográficas, financeiras, sociais, culturais, entre outras são determinantes nas escolhas que o arquiteto faz do partido arquitetônico. Muitas vezes, a sedução por partidos arquitetônicos baseados em aspectos morfológicos acaba por negligenciar o programa de necessidades do projeto. No caso de um teatro de ópera, a condição *sine qua non* é possuir características acústicas singulares. O objetivo deste trabalho é analisar a acústica arquitetônica do projeto de um teatro de ópera a partir de dois eixos: (I) comparando-o com as afirmações teóricas da acústica de salas e (II) simulando-o virtualmente para verificação quantitativa de seu desempenho acústico. Foram feitas análises qualitativas comparando o projeto arquitetônico e acústico de um teatro de ópera com a literatura de acústica de salas e análises quantitativas através da simulação computacional do teatro. Os parâmetros Tempo de Reverberação, Tempo Inicial de Decaimento, Índice de Clareza, Definição, Força Sonora e Índice de Transmissão da fala foram analisados e comparados com referências catedráticas sobre o assunto. Os resultados mostram que embora o discurso do partido arquitetônico seja o de um teatro de ópera, seu projeto não atende aos critérios ideais apontados pela literatura vigente. O teatro não possui parâmetros acústicos adequados à apresentação musical e tanto o fosso de orquestra como o tamanho da caixa cênica são objetos limitantes a determinados espetáculos.

Palavras-chave: desempenho acústico, teatro de ópera, simulação computacional.

ABSTRACT

Starting from the conception of the project until the moment when it is built, there are several deterministic conditions concerning to laws, environment, geographic, finances, society, culture and several other issues that the architect has to follow before applying them to the architectural features. In Brazil, most of the projects follow the aesthetical parameters rather than the necessities of the project. For an Opera Theatre it's mandatory to strictly follow acoustical conditions. The aim of this research is to analyse the acoustical aspects concerning the architectural choices taken for a specific Opera Theatre's project from two different points of view: (I) comparing it to the theory's state of art; (II) virtual simulation to verify quantitative parameters of the acoustical performance. Qualitative analyses were done comparing the project itself to the theories found in the literature concerning Opera Theatres, and quantitative analysis through computational simulation was also taken. Analysed parameters were Reverberation Time, Early Decay Time, Clarity, Definition, Strength and Speech Transmission Index, and compared to the literature. The results showed that although it is considered as a project for an Opera Theatre, it does not pursue the ideal criteria as an Opera House according to the directives found in the literature. The theatre does not have an appropriate acoustical performance, nor the stage or the orchestra pit follows proper architectural parameters.

Keywords: acoustical performance, opera theatre, computational simulation.

1 INTRODUÇÃO

Entre a centelha da concepção criativa de uma obra arquitetônica e a edificação do projeto executivo existem diversos fatores determinando as escolhas do arquiteto. Desde aquelas referentes às experiências e habilidades do arquiteto autor do projeto, até aquelas referentes ao contexto da obra em si: condicionantes legislativas, ambientais, geográficas, financeiras, sociais, culturais, entre outras. A direção norteadora da concepção criativa do ato projetual costuma-se nomear de partido arquitetônico (SILVA, 1984).

É senso comum entre os usuários edifícios que o partido arquitetônico formal, àquele baseado nos aspectos morfológicos, é bem mais atrativo quando associado à argumentação do gesto criativo: é a curva livre e sensual, tal qual o curso sinuoso dos rios ou o corpo da mulher preferida, como expressou Niemeyer (LIMA; *et al.*, 2012); ou a anatomia humana e a natureza exuberante como no discurso de Santiago Calatrava (FERRARO; *et al.*, 2009), ou ainda como os barcos à vela de Frank Gehry (LOPES; BERTOLI, 2010). A rápida assimilação pelo senso comum da expressividade poética da justificativa da obra arquitetônica induz a dedução: se não há discurso, não há valor arquitetônico. Dessa construção equivocada do imaginário coletivo, os arquitetos vêm se alimentando há décadas, desde a *École Beaux-Arts* até sua perpetuação no movimento moderno, e, ainda hoje, acreditam no partido apenas enquanto expressividade da forma e do discurso dela derivado.

O problema dessa postura arquitetônica é a negligência de determinados aspectos necessários ao projeto. Obras arquitetônicas possuem diferentes níveis de complexidade, e, portanto, diferentes necessidades específicas. O projeto das necessidades de uma residência unifamiliar é facilmente conduzido, uma vez que a experiência do habitar é inerente a qualquer arquiteto. Mas e as necessidades específicas de um teatro de ópera? Determinados programas arquitetônicos são sistemas demasiado complexos e com interfaces extremamente peculiares para serem projetados e edificados apenas considerando o partido arquitetônico enquanto expressividade da forma.

A condição *sine qua non* para a concepção criativa projetual de um teatro de ópera é, acima de tudo, possuir características acústicas singulares. Negligenciar a acústica em seu programa arquitetônico é negligenciar o próprio propósito do objeto arquitetônico em si. Em outras palavras, o partido arquitetônico condutor do projeto de um teatro de ópera é essencialmente baseado em seu desempenho acústico, dele dependendo para atingir o êxito na edificação finalizada. Assim sendo, cabe ao arquiteto, ainda que por meio da inserção de um profissional de conhecimento específico, comumente um consultor, compreender as interfaces da acústica arquitetônica desde a concepção criativa inicial do projeto.

O processo criativo de obras de acústica arquitetônica pode seguir um ciclo elementar, mas que demanda conhecimentos bastante específicos. Primeiramente, há a compreensão das afirmações teóricas da acústica arquitetônica de salas. Do domínio teórico, determinadas posturas projetuais são tomadas, outras descartadas, de modo a melhor conciliar as demandas particulares do projeto. Dessas primeiras etapas, derivam-se os primeiros estudos preliminares arquitetônicos, e, a partir deles, são conduzidas as primeiras verificações quantitativas da performance do projeto de acústica arquitetônica. Atualmente, essas verificações são comumente realizadas por meio de ferramentas virtuais específicas. Dependendo da resposta acústica das primeiras simulações virtuais, continua-se na condução do partido seguindo para o anteprojeto, e posteriormente projeto executivo, ou inicia-se um novo ciclo projetual para corrigir possíveis equívocos acústicos identificados nas simulações conforme esquematizado na **Figura 1**.

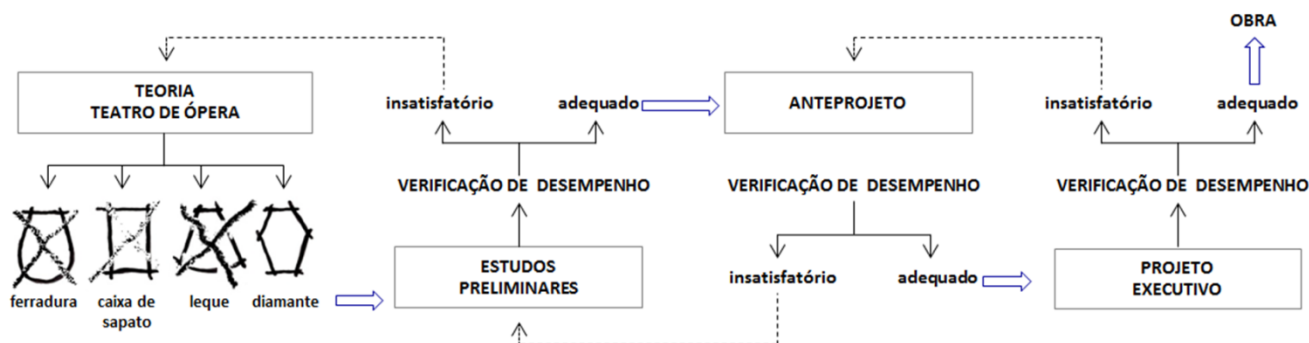


Figura 1 – Ciclo da concepção projetual em acústica arquitetônica. Fonte: os autores.

A adequada condução da execução desse ciclo, que se repete quantas vezes forem necessárias, é essencial para as decisões acerca das características acústicas e arquitetônicas que a edificação apresentará, e consequentemente para seu desempenho sonoro. Apesar disso, grande parte dos arquitetos que concebem projetos de natureza acústica não percorrem essas etapas. Esboçam, elaboram seus estudos preliminares,

adentram no anteprojeto, e, somente ao iniciar o projeto executivo, ou muitas vezes em sua finalização, consultam um profissional específico de acústica. Idealmente, a teoria da acústica de salas e sua verificação empírica deveriam acompanhar todas as etapas da concepção do projeto arquitetônico. Como consequência do descumprimento desta observação, o resultado do desempenho acústico da obra construída, muitas vezes, apresenta indícios claros que a teoria acústica não acompanhou a concepção arquitetônica.

2 OBJETIVO

Assim sendo, a presente investigação se propõe a analisar a acústica arquitetônica do projeto de um teatro de ópera a partir de dois eixos: (I) comparando-o com as afirmações teóricas da acústica de salas e (II) simulando-o virtualmente para verificação empírica quantitativa de seu desempenho acústico.

3 OBJETO DE ESTUDO

Por sua caracterização arquitetônica demasiadamente específica, teatros de ópera não costumam ser obras frequentes de serem projetadas e executadas. Tampouco de se encontrar dados e registros formais acerca de seus projetos executivos e memoriais descritivos.

Contudo, no dia 26 de fevereiro de 2015, visando a construção do Teatro de Ópera Carlos Gomes, a Prefeitura Municipal de Campinas colocou à disposição o seu projeto executivo arquitetônico, juntamente com todos os seus projetos complementares, para os interessados em participar da licitação nº15/10/23.00 para execução desta obra (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS, 2015). Também chamado de Teatro de Ópera Carlos Gomes, este teatro tem projeto arquitetônico de Carlos Bratke e a participação de Alexandre Sresnewsky como consultor acústico. No presente momento, a licitação para a futura construção do teatro foi cancelada pela Prefeitura para ajustes e esclarecimentos às construtoras interessadas na participação do projeto (BERENGEL, 2015). Sua implantação está prevista para a zona Leste da cidade de Campinas, dentro do Parque Ecológico Monsenhor José Salim.

Em seu projeto atual, o teatro terá 1230 assentos e volume total do auditório de aproximadamente 11.500 m³ (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS, 2015). A caracterização detalhada do projeto, necessária para o entendimento da acústica arquitetônica, será sistematizada ao longo de sua análise. Por ainda não ser uma obra construída, o teatro de Ópera Carlos Gomes, se faz um excelente objeto de estudo para a verificação do ciclo projetual acima especificado, bem como o desempenho acústico derivado das decisões acústicas tomadas em projeto.

4 MÉTODO

Para atender ao objetivo proposto, o método percorrido por este artigo também seguiu dois eixos quanto à forma de abordagem do problema de estudo. O primeiro refere-se aos procedimentos de ordem qualitativa, e abarca as afirmações teóricas acerca da acústica de salas e sua comparação com um projeto de teatro de ópera. O segundo eixo refere-se aos procedimentos de ordem quantitativa para a verificação do desempenho acústico de um teatro de ópera a partir de simulações virtuais.

4.1 Eixo qualitativo: o que afirma a teoria acerca de um teatro de ópera

A análise teórica das posturas de acústica arquitetônica para a concepção projetual de um teatro de ópera foi embasada nos fundamentos de autores catedráticos como Beranek (2003), Barron (2003), Cavanaugh *et al.*, (2010) Meyer (2009) e Mehta (1998). Foi investigado o modo projetual ideal para a forma da sala de espetáculos de um teatro de ópera, tamanho do palco, caixa cênica, fosso de orquestra, balcões e comparado com o atual projeto arquitetônico e acústico do objeto de estudo selecionado. O discurso arquitetônico do teatro será avaliado em função das notícias expostas na mídia local e nacional a respeito da obra arquitetônica, sejam elas propagadas pelo arquiteto, prefeitura ou notícias generalizadas sobre o assunto.

4.2 Eixo quantitativo: desempenho acústico.

A verificação quantitativa do desempenho acústico do Teatro de Ópera de Campinas foi analisada através da avaliação de seu condicionamento acústico.

Para esta avaliação, foi construído um modelo virtual, a partir do projeto executivo, no *software* EASE *Room Acoustic Modeling* v.4.3, da AFMG com o módulo AURA. O módulo AURA é responsável pelo cálculo da resposta impulsiva da sala e consequente obtenção dos parâmetros acústicos baseados na norma ISO 3382-1 (2009). O modelo de cálculo utilizado pelo sistema é composto de um traçado de raios híbrido, utilizando uma mistura do “Modelo de Imagem Determinística” e o método de “Traçado de Raios Estocástico”. O sistema é análogo ao de outros softwares com o Odeon, da Odeon A/S, que também utiliza

uma combinação de modelo de imagem e traçado de raios. Os coeficientes de absorção adotados foram obtidos à partir da análise do projeto, especificações do projeto acústico e busca dos coeficientes dos materiais junto aos seus fabricantes mediante laudos acústicos emitidos por laboratórios acreditados. A única área de absorção no teatro não especificado em projeto foram as poltronas da plateia. Uma análise das planilhas de custos, também disponibilizada pela Prefeitura de Campinas junto ao edital de licitação, tornou possível encontrar o valor estimado proposto para as poltronas, e assim, a partir de pesquisa junto aos principais fabricantes, estimar o modelo que atende as exigências estipuladas pela prefeitura. Mediante fornecimento de laudo de absorção acústica pelo fabricante foi possível incluir os dados no modelo simulado.

A partir dos resultados obtidos pelo modelo virtual, foram analisados os parâmetros acústicos TR (tempo de reverberação), EDT (tempo de decaimento inicial), C_{50} (índice de clareza da fala) e C_{80} (índice de clareza para música), D_{50} (definição), e G (força sonora). A escolha do número de receptores e posição de fontes foram feitas de acordo com as recomendações da norma ISO 3382-1 (2009). Foram utilizados simultaneamente 04 posições de fonte sonora no palco e 18 pontos de receptores na plateia, destes pontos, 04 deles foram inseridos no balcão. Os pontos de fonte e receptor podem ser vistos na **Figura 2**. Os pontos de fonte estão marcados em azul e os pontos de receptor estão marcados em vermelho. No total, foram obtidos 72 resultados de cada um dos parâmetros acústicos. As simulações não foram feitas levando em consideração a fonte sonora no fosso de orquestra, apenas em cima do palco. Também foi considerado o teatro vazio, sem a presença de músicos no palco e plateia presente, como normalmente seria feito uma medição acústica no local, se esse já estivesse construído e finalizado.



Figura 2 – Plantas e modelagem computacional com disposições de fontes e receptores sonoros.
Fonte: os autores a partir de PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS, 2015.

5 A ACÚSTICA ARQUITETÔNICA DE TEATROS DE ÓPERA

5.1 Principais características acústicas e arquitetônicas

O grande diferencial de um teatro de ópera está no palco, pois este tipo de espetáculo dispõe de cenários e adereços. Teatros de ópera possuem proscênio e caixa cênica, área que abriga o maquinário, com altura e profundidade suficientes para abrigar os cenários, geralmente armazenados na parte superior de forma suspensa. A profundidade é fundamental para proporcionar o uso da perspectiva. Para que a caixa cênica não seja vista da plateia, há uma parede divisória entre os ambientes, apenas com a abertura do arco do proscênio (CAVANAUGH et al., 2010). Appleton (2008) sugere que a **profundidade da caixa cênica** seja equivalente à largura do arco do proscênio. Sugere também medidas guias de 12 m, 15 m e 20 m de profundidade para teatros pequenos, médios e grandes respectivamente.

A **forma da sala** é de grande importância em função de seu uso. Vários autores destacam a importância do formato da sala, se para a fala, ópera ou concerto (BARRON, 2003; BERANEK, 2003; CAVANAUGH et al., 2010; MEHTA et al., 1998). Salas para a música preferencialmente devem possuir boa qualidade de reflexões laterais, tanto iniciais como finais para propiciarem a sensação de espacialidade como o aumento aparente da largura da fonte e a sensação de envolvimento do ouvinte. (BRADLEY; SOULODRE, 1995; BARRON; MARSHALL, 1981). Barron (2000) mostra que em medição a várias salas, os piores desempenhos quanto a espacialidade estão em salas em formato leque e os melhores em formatos retangulares e de leque invertido. Barron (2003) comenta que para a ópera talvez a espacialidade não seja primordial, mas propõe que o assunto ainda seja pesquisado uma vez que se para fala a sensação de espacialidade não seja importante, para música ela é fundamental.

Os cantores e o coro ficam sobre o palco e, em um nível mais baixo, a orquestra é colocada em um fosso à frente do palco. O fosso da orquestra apresenta um desafio maior para a adequação acústica de salas de ópera. Na ópera, para que seja possível receber parte do som direto pelos espectadores, o fosso deve ser visto não apenas dos balcões e camarotes, mas, se possível, também da plateia. Os camarotes foram inicialmente projetados com intuito social, dando maior visibilidade à elite.

Devido à multidisciplinaridade, a ópera, que agrega música, cênica e dança em uma só forma de arte, é a tipologia teatral que possui maiores restrições projetuais. Deve abranger, do ponto de vista acústico, o balanço correto entre canto e música. Já, quanto ao visual, deve propiciar aos espectadores visão do palco e obstrução da caixa cênica, já que o ângulo de visão devido ao arco do proscênio é mais restrito. O **distanciamento do fundo da plateia** em relação ao palco deve ficar no máximo em torno de 30 m a fim de atender às questões visuais e acústicas (BARRON, 2003).

Para que a apresentação transcorra de forma adequada, os músicos devem ser ouvidos pelos cantores, a fim de proporcionar equilíbrio musical entre o canto e a música. Para tal, superfícies refletoras verticais, como as paredes próximas ao arco do proscênio podem beneficiar a propagação da voz pela sala, especialmente na área do proscênio. O **proscênio**, é um avanço do palco em direção à plateia, a frente do arco do proscênio. Este avanço, propicia ao cantor, a oportunidade de fazer sua performance fora da caixa cênica, dentro da área do auditório, utilizando plenamente as condições que esta área possa oferecer. Barron (2003) recomenda que este avanço tenha entre 1 e 2m. É comum que as **paredes laterais** nesta área **do proscênio** sejam anguladas de tal forma que o som da voz seja projetado lateralmente à plateia. Estas superfícies podem inclusive ser difusas, o que contribuiria também para o retorno da voz no fosso da orquestra. As reflexões laterais destas paredes são de grande importância, uma vez que Marshall e Meyer (1985) mostram que a voz humana é direcional com ângulo mais acentuado no sentido vertical do que no horizontal. Em geral, cantores de ópera utilizam este recurso ao cantar suas árias, momento em que demonstram toda sua virtuosidade vocal e interpretação. Estas paredes laterais anguladas da área do proscênio tem também a função de projetar tanto a voz dos cantores para dentro do fosso de orquestra, como projetar o som da orquestra no fosso para os cantores no palco (BARRON, 2003). Beranek (2003) também comenta que os cantores gostam da sensação de retorno de suas vozes, especialmente de sentir que estas preenchem todo o ambiente.

O **fosso de orquestra** é de fundamental importância para um teatro de ópera. Ele situa-se na área que divide a plateia do palco. O fosso pode ter ou não um elevador que possibilite uma extensão do palco caso a orquestra opte por não tocar dentro dele. Em teatros de múltiplo uso, o elevador de fosso é altamente recomendado (CAVANAUGH *et al.*, 2010). Barron (2003) mostra que existem três tipos de fosso de orquestra: abertos, semiabertos e fechados. Os fossos abertos são aqueles que toda sua extensão está à frente do palco. Os semiabertos, possuem parte do fosso à frente do palco e parte embaixo do palco. Os fechados são como os fossos semiabertos porém com um anteparo na parte à frente do palco impedindo que a plateia consiga enxergar os músicos. Barron (2003) ainda propõe uma relação de área em função do número de músicos de acordo com os instrumentos musicais como visto na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Área de ocupação de acordo com a tipologia dos instrumentos. Fonte: BARRON, 2003.

Instrumento	Área
Cordas agudas e instrumentos de sopro	1,25m ² por músico
Violoncelos e instrumentos grandes de sopro	1,5m ² por músico
Contrabaixos	1,8m ² por músico
Tímpano	10m ² (área total)
Outros instrumentos de percussão	20m ² (área total)

Em geral, fossos de orquestra para ópera são projetados para abrigar em torno de até 100 músicos e podem possuir paredes que podem ser movidas, aumentando ou diminuindo a área conforme a necessidade. Propõe-se a construção de fossos entre 120 a 150 m². No fosso os músicos precisam ouvir com clareza o conjunto e seus próprios instrumentos. Cavanaugh *et al.* (2010) sugere o uso de superfícies que possam ser ajustadas acusticamente a fim de que a acústica do fosso se adeque ao tamanho e ao tipo de instrumentação de cada orquestra.

5.2 Recomendações Quantitativas para Teatros de Ópera

Dos parâmetros acústicos fundamentais ao bom desempenho de salas para música em geral, o tempo de reverberação em um teatro de ópera se encontra entre o meio termo recomendado para fala e para música. É conhecido o antagonismo entre a necessidade de salas mais secas recomendadas para teatros para fala com a

necessidade de salas mais vivas recomendadas para música. Como uma forma de contrabalançar os dois lados, tempos de reverberação intermediários são recomendados.

Hidaka e Beranek (2000) propuseram uma análise em 23 teatros de ópera comparando resultados de parâmetros objetivos com análises subjetivas das salas. Com esta pesquisa, conseguiram chegar em valores de parâmetros objetivos com boa aceitação do público. De acordo com os autores, os valores considerados como bons para o parâmetro Tempo de Reverberação são entre 1,4 s a 1,6 s, sendo valores entre 1,1 s e 1,3 s considerados como “salas muito secas”. Barron (2003) considera que o tempo pode ter uma variação maior, entre 1,3 e 1,8s. Cavanaugh et al (2010) recomenda uma variação entre 1,3 e 1,9s. Meyer (2009) propõe uma análise histórico-evolutiva da acústica de salas de ópera e mostra que há uma tendência de preferência por salas de ópera com tempo de reverberação maior ao longo da história, especialmente em função da contribuição deste parâmetro para as óperas do período romântico culminando nas obras de Wagner. O autor também propõe que a variação acústica é mais crítica para a ópera do que para a música de concerto, sendo óperas do período clássico beneficiadas por tempos de reverberação menores e óperas do período romântico em diante beneficiadas por tempos maiores.

Beranek (2003) propõe que o parâmetro EDT seja entre 0,1 a 0,2s maior que o tempo de reverberação. Barron (2003) propõe que os valores de EDT possam estar na mesma faixa recomendada do tempo de reverberação. De acordo com Kahle e Jullien (1994), o parâmetro EDT possui uma relação maior com a sensação de reverberância que o próprio Tempo de Reverberação. Valores menores de EDT em relação ao TR propiciam ainda mais a sensação de “sala seca”, privilegiando a clareza do som.

Os descritores D50 e C50 são normalmente utilizados para análise de definição e clareza da fala respectivamente. Entretanto vários autores utilizam destes descritores ao analisar teatros de ópera uma vez que este gênero musical também necessita de certa compreensão da fala ou mesmo do canto. Até o período clássico, as óperas possuíam o chamado “recitativo” entre uma ária e outra onde os cantores falam ou recitam seus textos com um pequeno acompanhamento de um instrumento como o cravo. Desta maneira é importante que a plateia tenha condições de compreensão da fala. A recomendação para o parâmetro D50 para a compreensão da fala é que seus valores estejam acima de 0,5. Para o parâmetro C50, Cavanaugh et al. (2010) recomenda valores acima de 3dB e Meyer (2009) recomenda valores acima de 0 dB para a ópera.

Para o descritor C80, clareza musical, Hidaka e Beranek (2000) consideram que valores devam estar entre 1 e 3 dB. Barron (2003) propõe uma faixa entre -1 e 3dB para ópera. Cavanaugh (2010) recomenda valores entre -2 e +2dB enquanto Meyer (2009) propõe uma faixa entre -2 e +4 dB. Em todas as recomendações fica clara a preferência em propiciar melhor clareza musical com valores positivos, privilegiando as energias iniciais em relação às energias finais ou reverberantes. .

Para o parâmetro G, força sonora, tanto Beranek (2003) quanto Barron (2003) recomendam valores entre +1dB e +4dB. Barron (2003) propõe que o parâmetro G esteja diretamente ligado à sensação de intimidade, um dos descritores subjetivos mais importantes em acústica de salas segundo Beranek (2003) e Cavanaugh (2010). Beranek (2003) acredita que o ITDG (Initial Time Delay Gap), ou o tempo entre o som direto e a primeira reflexão, seja o responsável pela sensação de intimidade, entretanto algumas pesquisas subjetivas como a de Cox et al. (1993) mostram que a percepção subjetiva da variação do ITDG é baixa. Beranek (2011) propõe que o parâmetro G seja um dos mais importantes na avaliação de salas para música.

6 RESULTADOS E ANÁLISE DO TEATRO DE ÓPERA DE CAMPINAS

É comum que a mídia privilegie noticiar determinados aspectos de uma obra arquitetônica, principalmente por conta da apropriação pelo senso comum do discurso do partido arquitetônico. O inconveniente dessa propensão é a divulgação de equívocos, e a partir desses, a construção de mitos. A acústica arquitetônica é vítima recorrente desse imaginário coletivo, e o Teatro de Ópera Campinas é um bom exemplo disso.

O projeto do Teatro não é recente, vem sendo elaborado desde 2010 (ARQ!PROJETOS, 2012), e se, em algum momento, sua concepção pode ter sido iniciada com a proposta de um formato arquitetônico de teatro elizabetano, italiano, ou ferradura, hoje, o formato que de fato consta no projeto executivo, é o em leque. O formato de um teatro de ópera é fundamental para o seu adequado desempenho acústico, e assim sendo, as notícias midiáticas se apropriaram do discurso do formato, ainda que de modo equivocado e controverso:

“... foram apresentados dois estilos de configuração à prefeitura da cidade: o teatro italiano e o elizabetano-inglês; o segundo foi escolhido” (ARQ!PROJETOS, 2012); “Com estilo elizabetano, onde o palco avança sobre a plateia em um semicírculo para criar interatividade entre cena e público” (G1, 2013); “No projeto original, tinha estilo elizabetano, em que o público o circunda por três lados, e foi alterado para estilo italiano,” (COSTA, 2015).

“Inicialmente, o desenho da sala seria no estilo elisabetano (em semicírculo) e a Prefeitura pediu para que o novo desenho tenha estilo italiano (em forma de ferradura), mais propício a apresentações operísticas” (COSTA, 2013); “...será uma das mais modernas salas de espetáculos do Brasil, com projeto de acústica para receber grandes apresentações, inclusive óperas” (COSTA, 2014).

Com essas afirmações, entende-se que o teatro, além de ópera, poderia ou deveria receber outros tipos de espetáculos, o que o torna do ponto de vista formal, um teatro para múltiplo uso. Dentro dos conhecimentos da acústica arquitetônica, teatros para múltiplo uso são um dos maiores desafios de projeto, já que de certa maneira, precisam conciliar as necessidades acústicas de espetáculos notadamente antagônicos; a acústica exigida por uma apresentação orquestral é oposta à necessidade acústica de uma peça teatral, por exemplo. Adequar um espaço destinado a vários tipos de espetáculos requer a capacidade de variabilidade acústica. Sabe-se como consequência, que muitas salas de espetáculo no Brasil, embora abriguem vários tipos de espetáculo, não possuem a capacidade de variar seu condicionamento acústico devido ao alto custo desta variabilidade. Desta maneira, opta-se por uma acústica que “privilegia” determinado tipo de espetáculo, normalmente, o que espera-se seja, o tipo de espetáculo “carro-chefe” do espaço em questão.

Nota-se no projeto do “Teatro Ópera de Campinas”, que não há previsão para qualquer tipo de variação acústica. Embora não seja o único parâmetro acústico a ser analisado para avaliação de salas, o parâmetro Tempo de Reverberação, é um dos mais importantes, sendo outros parâmetros influenciados por este. Para a variação do Tempo de Reverberação existem duas possibilidades: ou varia-se o volume da sala de espetáculos, ou aumentam-se as áreas de absorção dentro da sala. Nem uma das duas possibilidades é contemplada neste projeto analisado, o que se pressupõe, que seus idealizadores optaram pela adequação acústica da sala para uma forma específica de apresentação. Como o próprio nome do teatro induz, pressupõe-se que a opção tenha sido a Ópera.

6.1 Resultados e Análise qualitativa do Teatro de Ópera de Campinas

O primeiro item analisado em função da revisão bibliográfica realizada foi o da profundidade da caixa cênica. Em função do número de espectadores do teatro Ópera de Campinas, espera-se que a profundidade da caixa cênica seja em torno de 15 m, o que estaria de acordo com a largura do arco do proscênio, em torno de 17 m. Entretanto, o desenho do fundo da caixa cênica é no formato côncavo, seguindo o mesmo desenho da parte externa do teatro. Este tipo de desenho faz com que haja uma pequena perda de espaço útil no fundo do palco. Pode-se então considerar como medida útil, a medida da última vara cênica no palco, o que daria em torno de 9,7 m a partir do arco do proscênio. Esta medida é considerada pequena e será fator limitante aos tipos e tamanhos de espetáculos apresentados no teatro, não estando adequado com as recomendações da literatura vigente.

O segundo item analisado foi o formato da sala. Em função do projeto original destacado pela mídia em formato circular e com palco elisabetano, há uma evolução considerável na nova escolha da forma do teatro. Entretanto, o formato leque é considerado pelos autores citados como o pior formato para a música por não propiciar boas reflexões laterais que podem ser visualizadas na **Figura 3**. A partir de uma posição central de fonte sonora no palco, o traçado de raios nas paredes laterais mostra claramente que uma grande parte do teatro, especialmente na área central não recebe qualquer tipo de primeiras reflexões laterais. Mesmo nas poltronas que recebem as reflexões das paredes laterais, em função do ângulo das paredes, as reflexões não chegam pela lateral do ouvinte, mas sim pela frente. Existem maneiras de melhorar esta situação, mas nenhuma delas é observada no projeto atual do Teatro de Ópera Campinas (COMMINS *et al.*, 2002).

O terceiro ponto analisado foi a distância entre o arco do proscênio e a distância entre a última fileira de poltronas. Esta distância, no teatro de Ópera de Campinas, é de aproximadamente 28m, estando dentro das recomendações da literatura.

O quarto item analisado foi a presença de um proscênio e o tratamento de suas paredes laterais. O teatro de Ópera de Campinas apresenta um pequeno proscênio curvo, com avanço de 0,9m, abaixo do recomendado, entre 1 a 2m. As paredes laterais desta área são de material reflexivo, liso, não propiciando difusão sonora como recomendado, o que pode dificultar o balanço adequado entre orquestra e cantores. As paredes não possuem inclinação (seu ângulo em relação ao arco do proscênio é de 90°) que propicie a projeção do som dos cantores à plateia, como visto na **Figura 3**.

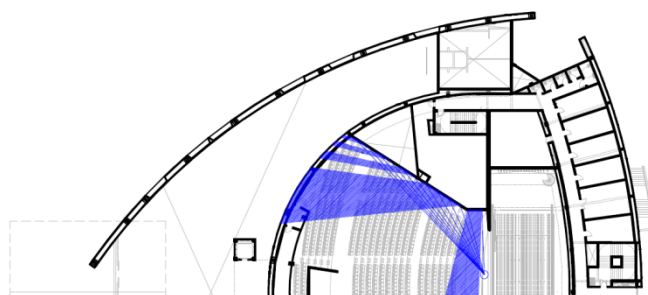


Figura 3: Diagrama das primeiras reflexões em função de um ponto central de fonte sonora. . Fonte: os autores a partir de PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS, 2015.

O quinto item analisado foi o fosso da orquestra. Chama a atenção o tamanho do fosso do Teatro Ópera de Campinas. Em função de seu formato, o fosso é estreito e largo, com aproximadamente 70 m² de área útil. A **Tabela 2** mostra a área necessária para uma pequena orquestra de ópera, típica do período clássico com apenas 36 músicos. Apenas esta formação exige uma área mínima de aproximadamente 76 m². Óperas do período romântico de compositores como Verdi, Rossini e o próprio compositor brasileiro Antônio Carlos Gomes, chegam a ter orquestras com aproximadamente 60 músicos. Compositores modernos como Wagner e Richard Strauss utilizam orquestras entre 90 a 100 músicos. Devido ao grande elevador de palco projetado para o teatro e uma parede em alvenaria que separa o fosso da orquestra do fosso de palco, não há a possibilidade de variar a área do fosso da orquestra, fazendo com que este espaço seja um gargalo determinante no tipo de produções que poderão ser realizadas neste teatro.

Tabela 2 – Área de ocupação de uma pequena orquestra. Fonte: Os autores a partir de Barron, 2003.

Instrumento	unidade	Flautas	Oboe	Clarinete	Fagote	Trompete	Trompas	Trombone	Tuba	Percussão	Timpano	Violino	Viola	Cellos	Baixos	Total
Músicos	u	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	10	4	3	2	36
Área por músico	m ²	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,5	1,5	1,5	20	10	1,25	1,25	1,5	1,8	
Área Total	m ²	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3	3	1,5	20	10	12,5	5	4,5	3,6	75,6

O fosso de orquestra também não está de acordo com o recomendado pela literatura e possivelmente, este seja o ponto mais negativo deste projeto, se tornando um grande limitante para não apenas os tamanhos de espetáculos aqui produzidos, mas também para os tipos de espetáculos. Com este tamanho, será possível a montagem apenas de óperas do período barroco e clássico, deixando de fora todo o repertório romântico e moderno deste gênero, por exemplo.

6.2 Análise do condicionamento

A média por frequência em banda de oitava dos resultados simulados dos parâmetros tempo de reverberação, tempo de decaimento inicial, clareza da fala e clareza musical podem ser vistos nos gráficos (a) e (b) da **Figura 4**. As médias espaciais foram obtidas pelas médias aritméticas dos 72 resultados obtidos. As médias dos parâmetros relacionados à energia (C50, C80 e G) foram obtidas a partir da média logarítmica dos 72 resultados obtidos. O parâmetro D50, por ser uma razão entre energias, foi obtido com a média aritmética dos 72 resultados e apresentado num valor único na **Tabela 3** a partir da médias aritmética das bandas de 500Hz e 1000Hz.

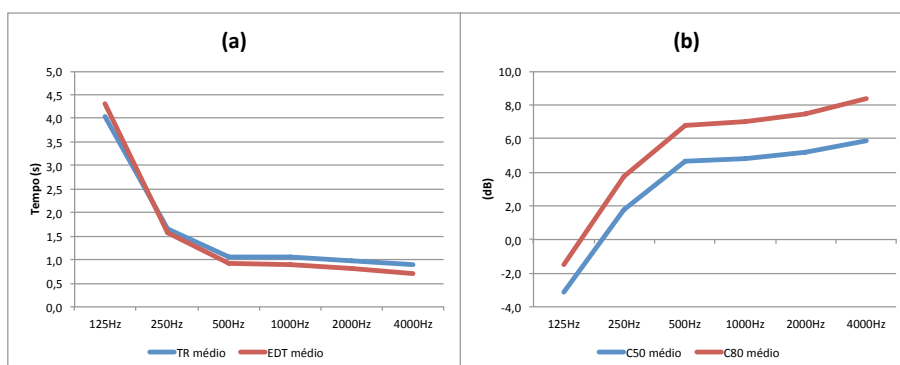


Figura 4: Resultados médios dos parâmetros TR, EDT, C50 e C80 por banda de oitava. Fonte: os autores.

O gráfico (a) da **Figura 4** mostra a relação entre o tempo de reverberação e o tempo inicial de decaimento. Os valores altos encontrados na banda de 125Hz pode ser desconsiderados em função de uma série de fatores. Baixas Frequências são normalmente de difícil predição em simulações, além de outros fatores que podem ser considerados como perda de transmissão em função dos materiais de isolamento e o efeito de absorção de graves causado pela regularidade das poltronas na plateia (*dip seat effect*). Os resultados mostram que tanto o TR como o EDT possuem valores baixos, em torno de 1,0s, estando abaixo da faixa mencionada por Hidaka e Beranek (2000) como “salas muito secas”. Estes valores estão bem abaixo do recomendado pela literatura e podem ficar ainda mais baixos com a presença de público na plateia.

O resultado do parâmetro C50 no gráfico (b) da **Figura 4** mostra valores positivos a partir de 250Hz e acima de +4dB e estão dentro dos recomendados. Já os valores de C80 estão acima de +6 dB a partir de 500Hz, valores bem acima dos recomendados. A consequência disso é uma exagerada clareza musical, causando um detrimento à sensação de conjunto proposta por Beranek (2003).

A norma ISO 3382-1(2009) propõe o uso de números únicos dos parâmetros analisados para a fácil comparação com dados da literatura. Estes números únicos podem ser obtidos pelas médias aritméticas de determinadas bandas de oitava segundo tabela da norma. Para os parâmetros estudados, as médias recomendadas são entre as frequências de 500Hz e 1000Hz. Os valores médios podem ser vistos na **Tabela 3**.

Tabela 3: Médias das bandas de 500Hz e 1000Hz dos parâmetros analisados. Fonte: os autores.

TR	EDT	C80	C50	D50	G
1,1s	0,9s	6,9dB	4,7dB	0,7	0,4 dB

A **Tabela 3** mostra que o valor médio de D50, acima de 0,7, está dentro dos valores recomendados pela literatura para boa definição da fala. O valor médio do parâmetro G, de 0,4 dB, entretanto, está abaixo dos valores recomendados. O parâmetro G é um parâmetro que varia conforme o distanciamento do receptor pela fonte e deve ser analisado em função da posição do ouvinte. O gráfico da **Figura 5** mostra a média logarítmica dos valores de G em função de 4 setores da plateia: plateia central, plateia lateral, plateia embaixo do balcão e plateia no balcão superior.

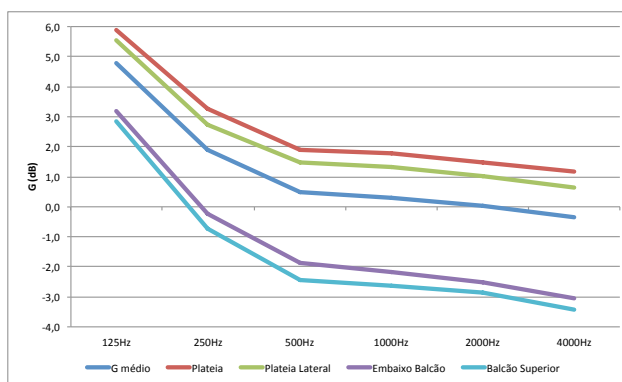


Figura 5: Valores do parâmetro G em setores da plateia. Fonte: os autores.

O Gráfico da **Figura 5** mostra que quanto maior a distância do receptor em relação a fonte, menor é o valor de G, chegando a valores abaixo de -2dB a partir de 500Hz no fundo da plateia embaixo do balcão e no balcão superior. Estes valores são considerados ruins e não proporcionarão a sensação de intimidade proposta pela literatura.

O teatro Ópera de Campinas poderia ser comparado ao Semperoper, em Dresden, Alemanha. Seu volume é de aproximadamente 12.480 m³ e possui 1.284 lugares (BERANEK, 2003). Esta sala possui tempo de reverberação médio em 500Hz e 1000Hz com a sala sem plateia de aproximadamente 1,9s, EDT médio de 1,7s, C80 médio de -2dB e G médio de +2,1 dB. A sala possui formato ferradura com 4 níveis de balcão e plateia central inclinada. O fosso é do tipo aberto com área de 120m². A comparação mostra que o Semperoper possui todos os parâmetros dentro da recomendação de salas para música. Apesar do TR estar acima do recomendado quando da sala vazia, o valor de TR para ela totalmente ocupada cai para 1,6s. Esta sala, segundo o ranking de Beranek (2003) está entre as 5 melhores salas de ópera do mundo.

7 CONCLUSÕES

O partido arquitetônico condutor do projeto de um teatro de ópera é essencialmente baseado em seu

desempenho acústico, dele dependendo para atingir o êxito da edificação finalizada. No Teatro de Ópera de Campinas tanto a comparação com as afirmações teóricas da acústica de salas, quanto a simulação virtual para verificação quantitativa de seu desempenho acústico, demonstraram resultados incompatíveis ao seu uso. A sala atendeu apenas um dos requisitos qualitativos estudados. O fosso de orquestra é possivelmente o elemento estudado que trará maiores restrições aos tipos de espetáculos nela apresentados. O projeto apresenta dois parâmetros relacionados à fala dentro das recomendações da literatura. Todos os parâmetros acústicos relacionados à música estão fora das recomendações para teatros de ópera. Mesmo sendo utilizado para a fala, a análise do parâmetro G mostra que no fundo da sala a força sonora é baixa, diminuindo a sensação de intimidade necessária tanto para música quanto para fala. Devido às restrições geradas pelo projeto atual, a sala não permitirá a execução de grandes espetáculos, a intenção inicial do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APPLETON, I. **Buildings for the Performing Arts**. 2 edition ed. Amsterdam: Routledge, 2008.
- ARQ!PROJETOS. *Carlos Bratke*. Disponível em: <<http://www.arqbacana.com.br/internal/arq!corp/read/1227/carlos-bratke>>, 2012
- BARRON, M. **Auditorium Acoustics**. 2. ed. [s.l.] Spon Press, 2003.
- BARRON, M. Measured Early Lateral Energy Fractions In Concert Halls And Opera Houses. **Journal of Sound and Vibration**, v232, n Issue 1, p. 79-100, 2000.
- BARRON, M.; MARSHALL, A. H. Spatial impression due to early lateral reflections in concert halls: The deviation of a physical measure. **Journal of Sound and Vibration**, v. 77, n. Issue 2, p. 211–232, 1981.
- BERANEK, L. **Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture**. 2nd. ed. [s.l.] Springer, 2003.
- BERANEK, L. L. The sound strength parameter G and its importance in evaluating and planning the acoustics of halls for music. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 129, n. 5, p. 3020, 2011.
- BERENGEL, A. *Licitação de obras para Teatro de Ópera de Campinas é suspensa | CBN Campinas FM 99,1*. Disponível em: <<http://www.portalcncampinas.com.br/?p=102256>>, 2015. Acesso em: 21 abr. 2015.
- BRADLEY, J. S.; SOULODRE, G. A. The influence of late arriving energy on spatial impression. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 97, n. 4, p. 2263–2271, 1995.
- CAVANAUGH, W. J.; TOCCI, G.C.; WILKES, J. A. **Architectural Acoustics Principles and Practice** 2nd. Edition ed. John Wiley and Sons Inc: New Jersey, 2010
- COMMINS, D. *et al.* ACOUSTICS OF TEATRO DEGLI ARCIMBOLDI IN MILANO DESIGN, COMPUTER AND SCALE MODELS, DETAILS, RESULTS. **Proceedings of the Institute of Acoustics**, v. 24, 2002.
- COSTA, M. T. *Licença abre caminho para a licitação de teatro*. Disponível em: <<https://portal.conlicitacao.com.br/licitacao/noticias/licenca-abre-caminho-para-licitacao-de-teatro/>>, 2015 Acesso em: 21 abr. 2015.
- COSTA, M. T. *Novo teatro de Campinas terá edital até dezembro*. Disponível em: <http://correio.rac.com.br/_conteudo/2013/11/capa/campinas_e_rmc/115603-novo-teatro-de-campinas-tera-edital-ate-dezembro.html>, 2013 Acesso em: 21 abr. 2015.
- COSTA, M. T. *Por verba, Campinas “encolhe” teatro*. Disponível em: <http://correio.rac.com.br/_conteudo/2014/01/ig_paulista/142560-por-verba-campinas-encolhe-teatro.html>, 2014 Acesso em: 21 abr. 2015.
- COX, T. J.; DAVIES, W. J.; LAM, Y. W. The Sensitivity of Listeners to Early Sound Field Changes in Auditoria. **Acta Acustica united with Acustica**, v. 79, n. 1, p. 27–41, 1 jul. 1993.
- FERRARO, S. W.; ORTEGA, A. R.; FERRARO, N. A Lógica Poética do Croqui no Processo de Ensino do Projeto Arquitetônico. In: **IV Seminário Nacional Sobre Ensino e Pesquisa em Projeto de Arquitetura - PROJETA 2009**, São Paulo. *Anais...* São Paulo: [s.n.], 2009.
- G1, R. *Imagens projetam teatro de ópera milionário prometido para Campinas*. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/noticia/2013/03/video-mostra-como-ficara-teatro-de-opera-carlos-gomes-em-campinas.html>>, 2013 Acesso em: 21 abr. 2015.
- HIDAKA, T.; BERANEK, L.. Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 107, n. 1, p. 368–383, jan. 2000.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382-1: Acoustic Measurement of room acoustic parameter Part1: Performance Spaces**, 2009
- KAHLE, E.; JULLIEN, J.-P. **Some New Considerations on the Subjective Impression of Reverberance and its Correlation With Objective Criteria**ASA Conference. *Anais...*Cambridge: maio 1994
- LIMA, M.; CARVALHO, S.; VELOSO, M. A INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA NA CONCEPÇÃO PROJETO DO ARQUITETO SANTIAGO CALATRAVA. In: **SESSÃO TEMÁTICA NO EGRAFIA 2012**, 2012, La Plata, Argentina. *Anais...* La Plata, Argentina: [s.n.], 2012.
- LOPES, R. K.; BERTOLI, S. R. *Relações e influências da aplicação da acústica no processo de projeto de arquitetura contemporânea*. Dissertação de Mestrado. Disponível em:
- MARSHALL, A. H.; MEYER, J. The Directivity and Auditory Impressions of Singers. **Acta Acustica united with Acustica**, v. 58, n. 3, p. 130–140, 1985.
- MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. **Architectural Acoustics: Principles and Design**. 1st. ed. [s.l.] Prentice Hall, 1998.
- MEYER, J. **Acoustics and the Performance of Music**. 5th ed. Springer, 2009
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS, Disponível em: <http://licitacoes.campinas.sp.gov.br/listar.php?titulo=Licitacao%20E7%F5es&order=licitacao_nome,nro_licitacao%20desc&table=t_licitacoes&id_tipo=2>, 2015. Acesso em: 10 abr 2015.
- SILVA, E.. **Uma introdução ao projeto arquitetônico**. 2 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2006.