



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Perfil litúrgico e caracterização acústica de uma igreja evangélica histórica

Morais Júnior, J. E. S. de¹; Araújo, B. C. D²; Maiorino, A. V³.

¹ Arquiteto e Urbanista, Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, eugeniomoraisj@gmail.com

² Professora, Arquiteta e Doutora em Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, dantasbianca@gmail.com;

³ Professor, Doutor em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, Escola de Música, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, alexandre.maiorino@ufrn.br;

Resumo

Igrejas evangélicas históricas são edificações de predomínio da palavra falada como seu principal uso sonoro, diferente das igrejas experienciais, em que se percebe a ocorrência de música amplificada por sistema eletroacústico em cerca de 50% do tempo de culto. Assim, este trabalho buscou um exemplar representativo da tipologia "histórica" localizado em Natal/RN, que consiste em uma edificação de estilo eclético. Desta forma, o objetivo deste trabalho é caracterizar acusticamente uma igreja evangélica histórica a fim de relacionar sua arquitetura e perfil de culto aos critérios teóricos que expressam a qualidade desejada nestes espaços, assumindo que a qualidade acústica é essencial para que se cumpra a sua função principal. Os procedimentos metodológicos consistiram em pesquisa bibliográfica e documental do edifício, e medição de parâmetros acústicos objetivos – NPS, T_{30} , EDT, C_{50} , C_{80} , D_{50} e $\%AL_{CONS}$. Os valores obtidos foram tratados mediante técnicas estatísticas e analisados conforme a posição relativa do espectador na plateia, por sua distância em relação à fonte sonora e por simulação do padrão de ocupação pela audiência com auxílio de modelo matemático, em 03 situações distintas. Os resultados obtidos mostraram que os parâmetros T_{30} e EDT se aproximam dos valores recomendados pelas normas apenas em situação de ocupação máxima pelo público. Nos parâmetros D_{50} , C_{50} , C_{80} e $\%AL_{CONS}$, observou-se que o sistema eletroacústico existente não garante boa relação sinal-ruído, comprometendo a percepção do som direto. Conclui-se que a igreja analisada, embora representativa para a categoria religiosa, possui acústica precária e passível de intervenção corretiva por meio de projetos acústico e eletroacústico, e que a audiência pode significar um importante recurso de projeto para este tipo de edificação.

Palavras-chave: acústica de igrejas, igreja evangélica histórica, parâmetros acústicos objetivos, medição acústica, acústica de salas.

PACS: 43.38.Tj; 43.55.Br; 43.55.Fw

Abstract

Historical evangelical churches are buildings with a predominance of the spoken word, unlike experiential churches, in which music amplified by an electroacoustic system is perceived in about 50% of the worship time. Based on that, this work aims to analyze a representative example of the "historical" typology located in Natal/RN, which consists of an eclectic style architecture. The objective of this research is to characterize a historic evangelical church in order to relate its architecture and activity profile to the parameters that express the desired acoustical quality in such spaces. The methodological procedures consisted of bibliographic and documental research of the building and measurement of objective acoustic parameters – SPL, T_{30} , EDT, C_{50} , C_{80} , D_{50} and $\%AL_{CONS}$. Data treatment was made using statistical techniques and analyzed according to the relative position of the audience, considering their distance from the sound source and by simulation the occupation by audience with a mathematical model in 03 different situations. Results showed that parameters T_{30} and EDT are close to the values recommended by the norms only in a situation of maximum occupancy by the audience. For parameters D_{50} , C_{50} , C_{80} and $\%AL_{CONS}$, it was observed that the existing sound system does not guarantee a good signal-to-noise ratio, compromising the perception of direct sound. It is concluded that the analyzed church, although representative for the religious category, has poor acoustics and requires a corrective intervention by acoustic and electroacoustic projects, and that the audience can mean an important project resource for this type of building.

Keywords: church acoustics, historic evangelical church, objective acoustic parameters, acoustic measurement, room acoustics.



1. INTRODUÇÃO

As igrejas evangélicas tem sido objeto de pesquisas acerca de sua qualidade acústica, quer seja pela consequência de sua atividade enquanto fonte geradora de ruído ambiental [1] ou pelas suas características de culto, que implicam em demandas de condicionamento acústico que devem ser observadas conforme as particularidades de cada exemplar.

A variedade existente no universo de Igrejas evangélicas traz a observação de que os usos acústicos presentes não são padronizados entre seus exemplares ou “denominações¹”, cujos templos são, de forma geral, construídos sem projeto ou planejamento prévio aos problemas acústicos observados após a sua operação [2-4].

Em estudos anteriores [5-6], constatou-se que se faz necessária a classificação das igrejas evangélicas, do ponto de vista acústico, em duas categorias principais – não necessariamente seguindo-se critérios doutrinários ou religiosos – a saber: i) as igrejas *tradicionais ou históricas*, cujo culto referencia os princípios da reforma protestante sem adaptações significativas, com predominância de palavra falada em cerca de 70% do tempo de sessão [5], e ii) as *experenciais*, cujo termo apresentado por Jones [7], representa um grupo de denominações contemporâneas em cujo culto, verifica-se que “a música está no centro da experiência” [7, p. 160, tradução nossa] do usuário, que deseja encontrar-se com o Divino.

A existência de tais classificações demanda a análise dos respectivos espaços de reunião numa abordagem que relacione o uso ou atividade sonora predominante ao que é definido pela literatura e pela normatização vigente quanto aos critérios teóricos indicativos da qualidade acústica desejada, uma vez que, conforme observado por Moraes Júnior [5], no contexto brasileiro, carecem referências ou parâmetros relacionados ao ambiente acústico de igrejas evangélicas em seu perfil de

funcionamento no formato atual. Ainda, a observação do universo de estudo faz perceber que o sistema de amplificação sonora está presente na maioria dos casos, quer seja pelo porte do templo ou por questão cultural intrínseca a estes locais, o que reforça a necessidade de integração deste recurso à avaliação acústica das igrejas em questão.

Diante do exposto, este trabalho objetiva caracterizar acusticamente uma igreja evangélica histórica a fim de relacionar sua arquitetura e perfil de culto aos critérios teóricos que expressam a qualidade desejada nestes espaços. Os procedimentos metodológicos consistiram em pesquisa bibliográfica e documental do edifício, e medição de parâmetros acústicos objetivos – NPS, T30, EDT, C50, C80, D50 e %ALCONS, os quais foram tratados mediante técnicas estatísticas.

As análises realizadas correspondem à variação dos parâmetros acústicos com base na posição relativa do espectador na plateia e por sua distância em relação à fonte sonora, para efeito de compreensão do ambiente acústico. Ademais, foi realizada simulação do padrão de ocupação pela audiência com auxílio de modelo matemático, em 03 situações distintas de ocupação, o que influi na forma como a acústica do lugar é percebida pelo expectador quando do espaço em funcionamento. O trabalho se divide em referencial teórico, procedimentos metodológicos, apresentação e discussão dos resultados, seguido das considerações finais e referências.

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUALIDADE ACÚSTICA DE IGREJAS EVANGÉLICAS HISTÓRICAS

Para atingir o objetivo proposto, admite-se a observação empírica de que a religião em questão possui diferentes correntes ou denominações que, por sua forma de cultuar, afetam ou tem implicações acústicas que podem

¹ Termo popularmente utilizado para referir-se a igrejas evangélicas / protestantes de doutrinas ou costumes diferentes.

influenciar na arquitetura dos respectivos templos.

2.1 Arquitetura e espaço de culto

Acerca da arquitetura da religião cristã- evangélica, Raymond [8] reconhece a existência de uma linha construtiva que prevaleceu em meados do século XVIII, a exemplo da obra do arquiteto escocês James Gibb, especificamente a *Saint Martin-in-the-Fields Church*, em Londres/UK (Figura 1), cuja linguagem foi difundida não só na Inglaterra, mas também na América anglo-saxônica [9], inclusive no Brasil, em exemplares como Primeira Igreja Batista no Rio de Janeiro/RJ, a Igreja Batista da Capunga em Recife/PE e a Primeira Igreja Batista de Natal/RN [10].

Do ponto de vista acústico, observa-se que a igreja de St. Martin tornou-se conhecida por ser uma “igreja auditiva”, em que agrupamentos de bancos e galerias se concentravam ao redor do púlpito ou “Mesa Sagrada”, considerado o elemento dominante do interior. Desta forma, o pregador poderia ser visto sem dificuldade e o sermão compreendido sem esforço [9]. A partir destes exemplos nota-se, portanto, que o principal recurso acústico adotado pelas primeiras igrejas protestantes foi a aproximação entre fonte sonora e receptor, seja pelo arranjo do mobiliário ou redução do volume do espaço de culto.

Tal arquitetura inspirou, no contexto brasileiro, a construção e difusão das Igrejas Evangélicas Históricas [10]. De acordo com Cavalcanti [11], tais igrejas correspondem àquelas oriundas das três primeiras correntes da reforma protestante, a saber: a *primeira*, representada pelos luteranos e anglicanos; a *segunda*, pelos presbiterianos e, a *terceira*, pelos batistas e congregacionais.

2.2 Critérios teóricos aplicáveis à qualidade acústica dos templos

A qualidade sonora é entendida como o conjunto de atributos subjetivos que resultam na expectativa do ouvinte, a partir de sua experiência acústica [12]. No aspecto acústico, os atributos subjetivos podem ser mensurados por estímulos físicos, que se associam a parâmetros objetivos [14] tais como o nível de

pressão sonora, que é a pressão acústica emitida por uma fonte sonora, captada pelo sistema auditivo [13]; e a reverberação, que é um atributo característico de recintos fechados e diz respeito à distribuição e controle das reflexões sonoras no interior do ambiente [15].

Quanto aos parâmetros objetivos utilizados na análise, têm-se:

1. *Nível de Pressão Sonora – NPS*, medido em dB, que expressa a sensação de som em relação ao estímulo físico gerado por uma fonte [16].
2. *Tempo de Reverberação – TR*, que mede o tempo necessário para que o NPS da resposta ao impulso decaia 60dB em relação ao seu valor máximo – correspondente ao estado estacionário ou som direto [14], podendo ser representado pelo descritor T_{30} , desde que a relação entre impulso e ruído seja superior a 45dB [17];
3. *Tempo de Decaimento Inicial (Early Decay Time – EDT)*, que compreende o decaimento dos primeiros 10dB na resposta impulsiva em seus instantes iniciais, sendo consideravelmente dependente da relação fonte-receptor numa sala [14];
4. *Clareza (C_x)* relacionado à capacidade subjetiva de identificar detalhes sonoros que são reproduzidos em sequência, os quais se sobressaem em relação ao mascaramento causado pelo campo reverberante, sendo atribuídos à fala (C_{50}) quando obtido nos primeiros 50 milissegundos, e à música (C_{80}), quando correspondente ao intervalo dos 80 milissegundos iniciais [14];
5. *Definição (D_{50})* que, assim como a Clareza, também diz respeito ao grau em que o espectador consegue diferenciar os sons produzidos em sequência. Porém, é descrito a partir da razão entre a energia contida nos primeiros 50 milissegundos em relação à energia total da resposta impulsiva, sendo expresso em percentual [14].



6. *Perda de Articulação de Consoantes* – $\%AL_{CONS}$, definido como o grau em que as consoantes são entendidas de maneira errônea a partir de um discurso emitido por uma fonte, sendo função da diretividade desta fonte, do volume da sala e do próprio tempo de reverberação [7].

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A estruturação do processo de pesquisa consistiu em: i) caracterização da edificação, ii) planejamento da coleta de dados e iii) descrição dos métodos de avaliação dos resultados.

3.1 Caracterização da edificação

A edificação escolhida corresponde à Igreja Presbiteriana de Natal, instalada em edificação histórica de estilo eclético datada de 1896, localizada no Centro Histórico de Natal/RN. Além do aspecto histórico e arquitetônico inerente ao edifício, a escolha deste exemplar se deu em função da organização religiosa vincular-se à denominação presbiteriana, que por sua vez é referenciada na segunda corrente da reforma protestante devido à doutrina *calvinista* ou *arminiana* [11], classificando-se, portanto, como Igreja Evangélica Histórica.

A edificação corresponde à torre principal, onde ocorrem os cultos, e dois anexos laterais, que contém salas de apoio, copa e banheiros. A nave do templo possui cerca de 316m² e 1600m³, distribuídos entre área de público e palco, no térreo, e uma galeria no mezanino (Figura 1), que também serve à acomodação de expectadores.

O sistema construtivo é de alvenaria de tijolo maciço autoportante. As superfícies internas correspondem à pintura, predominantemente nas áreas de parede; piso em ladrilho hidráulico original à época de construção (Figura 2) e esquadrias – portas e janelas – de madeira maciça com visor de vidro fixo na parte superior, a exceção da porta de acesso principal, que foi substituída por vidro temperado. O teto da edificação corresponde à laje pintada, na qual se pode observar a estrutura das vigas em destaque. Não foram identificados materiais de

absorção acústica no espaço. A audiência é acomodada em bancos de madeira maciça, no formato de tábua corrida. No templo, é prevista a capacidade de 260 pessoas, sendo 225 no térreo e 35 no mezanino.



Figura 1: Interior da igreja, visto através do palco.
Fonte: Acervo dos Autores, em 2019.



Figura 2: Interior da igreja, visto através do fundo da audiência. Fonte: Acervo dos Autores, em 2019.

Do ponto de vista acústico, os eventos de culto se resumem ao uso de palavra falada e música amplificada por sistema eletroacústico, em atividades fixas que envolvem louvor, oração, socialização e pregação da mensagem, além de momentos de oração silenciosa pelo público. O tempo total de sessão dura cerca de 120 minutos. Em relação à distribuição temporal dos usos acústicos, percebeu-se que a duração das atividades na liturgia, relacionadas à palavra falada, varia conforme o dia em questão. Porém, no que tange ao uso da música no culto, percebe-se que esta possui duração e posição definida.

A partir das reuniões observadas e cronometragem do tempo destinado à música, chegou-se ao valor médio utilizado para este uso, por sessão, o qual corresponde a cerca de 22% do tempo total de culto (Figura 3), sendo o tempo restante exclusivo para palavra falada, à exceção dos tempos de silêncio absoluto, que não foram contabilizados.

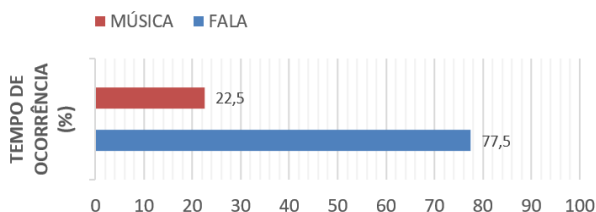


Figura 3: Proporção entre os usos predominantes – fala e música, em relação ao tempo total de culto.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O sistema eletroacústico da igreja consiste em alto-falantes “PA”, os quais são posicionados – um em cada extremidade – próximos ao palco, suspensos nas paredes laterais, direcionados ao público, constituindo fontes de ponto único em *stereo*. Estão presentes ainda dois monitores para retorno sonoro ao palco, que são utilizados por músicos e comunicadores. Não há *Subwoofers* ou caixas adicionais instaladas. A mesa de som é localizada ao fundo da plateia, próxima à saída da edificação.

3.2 Coleta de dados

As técnicas de coleta, realizadas em dias típicos para o clima local e em ausência de atividades que interferissem ruidosamente no estudo, consistiram em medição dos parâmetros

acústicos objetivos – TR, EDT, C_{50} , C_{80} , D_{50} e $\%AL_{CONS}$ – a partir da resposta impulsiva da sala vazia, considerando duas posições de fonte dodecaédrica (F1 e F2), bem como o uso do sistema eletroacústico existente (PA).

Para medição dos parâmetros acústicos com uso do PA, foi utilizado o software Dirac 6.0 da *Brüel & Kjær*, um microfone omnidirecional *Behringer ECM8000* ligado à uma placa de áudio *Focusrite Scarlett 2i2*, que por sua vez foi conectada à mesa de som da igreja para transmissão do sinal de medição ao sistema sonoro. Nas medições realizadas com sistema eletroacústico, foram consideradas apenas as duas caixas ativas, destinadas ao público, mantendo-se as duas caixas de retorno desligadas.

Não foi medido o ruído de fundo, mas observou-se a condição de que a Relação Impulso-Ruído – Impulse to Noise Ratio (INR) fosse igual ou superior a 45dB em todas as bandas de frequência observadas (125Hz-4kHz).

Durante as medições, foram observadas as recomendações da norma ISO 3382-1 [17]. Assim, foram determinadas as distâncias mínimas entre fonte e receptor, as alturas dos receptores, a distância mínima entre receptores e entre receptores e superfícies reflexivas. O microfone omnidirecional foi instalado em um tripé cuja altura final correspondeu a 1,20m, que é a média para uma pessoa sentada conforme previsto em norma.

Para medição com fonte dodecaédrica (F1 e F2), utilizou-se o sistema de medição da *Brüel & Kjær*, cuja estrutura se integra ao *Dirac 6.0*. As posições de fonte corresponderam à caixa sonora dodecaédrica, da *B&K*, com eixo posicionado a 1,50m do piso.

O posicionamento dos receptores buscou abranger a maior área de público possível, considerando distribuição uniforme e equidistante que permitisse agrupamento ou setorização posterior, para análise dos resultados. Os pontos determinados consideraram apenas a audiência formal (bancos em posição fixa) existente no templo, independente das posições das caixas de som.

Quanto à reverberação, apresentam-se os valores de T_{30} para as diferentes fontes sonoras utilizadas no processo de obtenção da resposta impulsiva, PA, F1 e F2. Discutiram-se as variações encontradas entre as posições de fonte dodecaédrica em relação aos valores de JND para o T_{30} , para efeito de caracterização da reverberação da sala. Os resultados foram analisados conforme à margem de 10% permitida para o Tempo Ótimo de Reverberação – TOR na NBR 12179 [19]. De maneira análoga, apresentaram-se os valores para o EDT conforme fonte sonora.

Ao considerar que a NBR 12179 [19] é a principal referência brasileira pertinente ao estudo, foi realizada avaliação dos resultados para o T_{30} em relação ao TOR previsto pela norma para a categoria “Igreja Protestante”. Uma vez que a norma indica os valores de TOR apenas para a banda de oitava de 500Hz, os valores para as demais frequências foram obtidos a partir de Bistafa [13].

Ainda, avaliou-se a influência do público excessivo na reverberação da sala pois, de acordo com Carvalho [20], a ocupação da sala pelas pessoas é um importante elemento de absorção sonora. Considerou-se a média de público observada durante as atividades de culto. O modelo de avaliação das condições da sala vazia foi construído mediante cálculo do Tempo de Reverberação através da fórmula de Sabine com auxílio do Excel, estimando-se os coeficientes de absorção dos materiais da sala por meio da literatura. Para observar a influência das pessoas, utilizaram-se os valores para “pessoa sentada”, “cadeira estofada vazia”, “pessoa em pé” e “adulto sentado em banco de madeira”, conforme situação analisada. Os valores constam na NBR 12179 [19] que, por sua vez, foram extraídos de De Marco [21].

As situações de público consideradas foram A) sala vazia, condição que reflete as medições de resposta impulsiva realizadas; B) 50% de ocupação da audiência, justificada pela contagem de público realizada durante as visitas à edificação em atividade; e C) 100% de ocupação, considerando a previsão de 260 pessoas, considerando a média de 05 pessoas por banco.

Para avaliação dos parâmetros de Clareza (C_{50}/C_{80} , Definição (D_{50}) e a Perda de Articulação de Consoantes – $\%AL_{CONS}$, uma vez que se tratam de parâmetros definidos pelas relações entre níveis de energia e são influenciados diretamente pela característica do alto-falante, adotou-se prioritariamente os resultados obtidos a partir da fonte sonora “PA”.

Observaram-se os valores globais, obtidos através das médias aritméticas dos resultados em 500Hz e 1000Hz de maneira análoga à prevista pela ISO 3382-1 [17], para impressão geral do espaço e comparação com a escala prevista por Marshall e Klepper [22] para C_{50} e C_{80} .

Além disso, definiu-se o agrupamento dos pontos receptores em função de suas respectivas posições nas filas de audiência, a partir da análise espacial em planta – conforme Figura 5 – a saber:

Tabela 1: Agrupamento dos pontos receptores conforme posição na audiência. Elaborado pelos autores.

Fila	Pontos receptores	Distância até a fonte sonora “PA” (m)
A	P1 e P2	1,2
B	P3 e P4	3
C	P5 e P6	4,8
D	P7 e P8	8
E	P9, P10, P11 e P12	10,4
F	P13 e P14	12,9

Considerando que as fontes sonoras foram posicionadas no palco, a determinação da média aritmética dos resultados por receptores permitiu avaliar o comportamento de C_{50} , C_{80} , D_{50} e $\%AL_{CONS}$ à medida em que o ouvinte se distancia da fonte sonora. Os valores obtidos em todos os parâmetros foram discutidos em relação à forma da sala, aos materiais de revestimento das superfícies, à distribuição espacial dos receptores e às posições dos alto-falantes em relação à plateia.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao avaliar a distribuição sonora ao longo do recinto e, considerando que os pontos de



medição de NPS localizados no pavimento térreo estão em posições distintas em relação ao alto-falante – o Ponto C está no eixo de influência direta, enquanto o ponto A se aproxima do centro da audiência – nota-se que há diferença de L_{Aeq} em relação ao centro da plateia, da ordem de 3,4dB durante a música e de 7,6dB no período de palavra falada, as quais se aproximam da faixa “muito perceptível” conforme Long [23], o que mostra diferença significativa no nível de audição entre as duas posições.

O maior valor de L_{Aeq} , no período da música, corresponde a 89,5dB e foi observado no Ponto “C” que, por sua vez, corresponde ao mais próximo do alto-falante. Entre os Pontos “A” e “B”, observa-se que embora o Ponto “B” esteja mais distante da fonte sonora, é registrado um valor de L_{Aeq} superior em virtude da pouca diferença vertical entre a caixa de som e o respectivo ponto, o qual encontra-se sob abrangência da diretividade do alto falante. O mesmo comportamento é observado nos períodos de palavra falada.

4.1 Reverberação

A resposta impulsiva das medições realizadas mostra que, ao comparar a *energy-time curve* entre as medições por fonte dodecaédrica e PA, não há diferenças visuais significativas ou grandes distorções sonoras causadas pelo alto-falante. Ao comparar pontos em diferentes posições na plateia, a exemplo de P2 na primeira fila e P12, na última, em P2 observa-se que este ponto está sujeito a maiores reflexões sonoras e ao decaimento de energia mais extenso ao longo do tempo. O Ponto P12 apresenta padrão de decaimento uniforme, sem reflexões excessivas nos primeiros instantes de medição e, portanto, maior incidência de som direto.

Observa-se que a posição do alto falante, sobretudo no aspecto da altura de instalação, contribui para melhor direcionamento de energia para os pontos localizados ao centro e ao fundo da igreja, inclusive no mezanino. Não foi constatada ocorrência de problemas de *flutter echo*.

Os resultados para T_{30} e EDT foram submetidos ao teste estatístico de verificação do Coeficiente

de Variação. As fontes sonoras consideradas denominam-se “F1” e “F2”, correspondentes ao sistema de medição com caixa dodecaédrica, e “PA”, termo associado ao sistema eletroacústico instalado na igreja. As frequências observadas são associadas ao intervalo de 125Hz até 4kHz, em bandas de oitava. De igual forma, o teste foi considerado validado quando o CV fosse inferior a 30%. Do total de 14 pontos, em seis frequências distintas, tem-se o total de 84 receptores. O total de medições foi o produto das três fontes sonoras pelo número de receptores, chegando-se ao total de 252 medições.

Para os dois parâmetros – T_{30} e EDT – a condição analisada obteve êxito em 100% dos receptores. Com base nisso, considera-se validada para o caso descrito a medição com sistema eletroacústico para os parâmetros T_{30} e EDT, e adota-se, como representação do ambiente como um todo, a média aritmética entre as três fontes. O resultado dos valores obtidos é exibido na Figura 6.

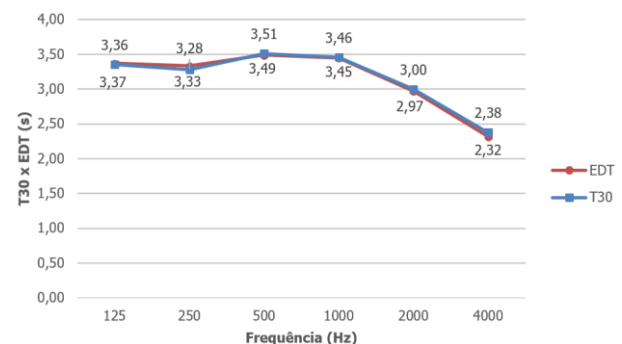


Figura 6: Resultados de T_{30} e EDT, obtidos em medição. Elaborado pelos Autores.

O gráfico mostra que o espaço analisado é reverberante, com T_{30} superior a 3s na maioria das frequências. Entre 125Hz e 1kHz, o nível de reverberação é aproximadamente homogêneo com variações inferiores a 5%. A partir de 1kHz, o gráfico do tempo de reverberação em função de frequência segue a tendência de decaimento observada na literatura, em que os valores de TR nas altas frequências são, em geral, inferiores a 500Hz.

Por sua vez, os resultados para o EDT exibem valores que sugerem grande proximidade com a medição realizada para o T_{30} . Ao comparar ambos os parâmetros, observou-se que há

coincidência em todas as frequências analisadas. Isso mostra que o padrão de decaimento da energia na sala é linear, com pouca variação entre os pontos. Também é observado que a predominância de materiais reflexivos, como concreto, alvenaria pintada, ladrilho e madeira, é responsável pela reverberação excessiva.

Quanto ao TOR, considerando que a igreja possui cerca de 1600m³, a NBR 12179 [19] indica que para este volume, considerando o uso sonoro “Igreja Protestante”, o Tempo Ótimo de Reverberação é 1,2s, a 500Hz. A partir do fator de correção de Bistafa [13], aplicam-se as correções para o TOR nas demais frequências e calculam-se os limites superior e inferior de 10% conforme previsto em norma, conforme exibido na Figura 7. O gráfico mostra que o espaço em questão não possui acústica adequada, pois em todas as bandas de frequência o valor de T₃₀ medido está distante do TOR previsto para o caso, para o qual cabe correção por meio de um projeto de condicionamento acústico específico.

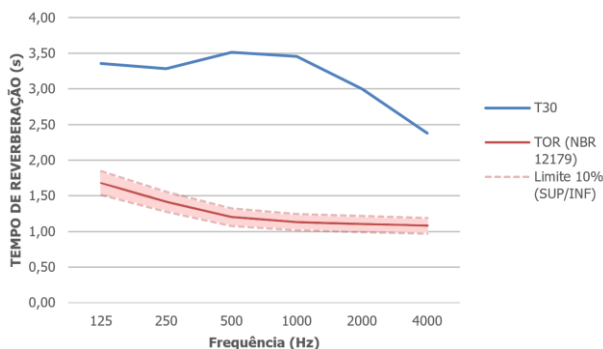


Figura 7: Resultados de T₃₀ em relação ao TOR para “Igreja Protestante” [19]. Elaborado pelos Autores.

Ainda, ao observar outros valores de TOR recorrentes na literatura para comparação, tais como “Igreja” [24] e “Churches / General Auditoriums” [22], entende-se que, por se tratar de um espaço com predominância de palavra falada em cerca de 77% da duração da atividade, a atribuição de TOR superior a 1,5s é comumente apresentado na literatura como indicação para igrejas com ocorrência de música litúrgica e, portanto, inadequado ao caso em análise.

Para avaliação do efeito da audiência na reverberação do espaço, foi realizado o cálculo matemático do tempo de reverberação para a sala vazia com auxílio dos coeficientes de absorção disponíveis na literatura. Valida-se, em seguida, o modelo de análise considerando tolerância superior e inferior de 10% para os valores de T₃₀ medido em comparação ao TR calculado, conforme Figura 8.

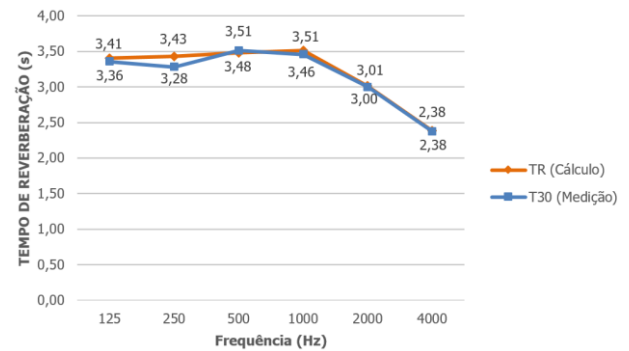


Figura 8: Resultados de T₃₀ em relação ao TOR para “Igreja Protestante” [19]. Elaborado pelos Autores.

A partir do modelo de simulação e das informações de público determinadas para o caso a Figura 9 apresenta a influência da audiência na reverberação da sala, em que a linha cheia corresponde aos valores de TR para a sala vazia; a linha pontilhada representa o tempo de reverberação correspondente à ocupação de aproximadamente 50%, média da população observada nas visitas à edificação em funcionamento; e a linha tracejada, correspondente aos valores de TR considerando a ocupação máxima dimensionada para o espaço, de 260 pessoas sentadas.

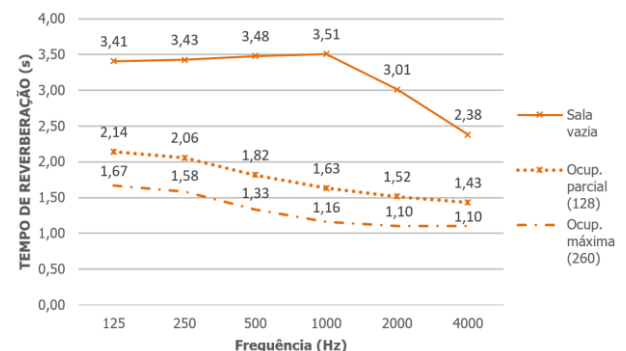


Figura 9: Influência da audiência na reverberação, em diferentes frequências.

A partir dos dados exibidos na Figura 10, é observado que os coeficientes utilizados na



simulação conferem à audiência papel significativo na redução da reverberação do espaço. Em 500Hz, por exemplo, a condição de ocupação parcial implica em redução próxima de 50%. Ao considerar a ocupação máxima, a redução se aproxima de 60% do valor calculado para a sala vazia. As demais frequências seguem comportamento semelhante à exceção da banda de 4kHz que, por já apresentar valor reduzido em comparação às demais, a taxa de redução foi menor – em torno de 40%.

Percebe-se ainda que a absorção do público, em geral, contribui para que o TR se torne mais homogêneo em função das bandas de frequência observadas. Ao comparar a curva que representa a ocupação máxima simulada com o resultado da medição do T_{30} e o TOR da NBR 12179 [19], exibe-se a Figura 10, na qual observa-se que a contribuição da ocupação máxima simulada permite reduzir a reverberação da sala aos valores propostos para o TOR de Igrejas Protestantes, em todas as frequências observadas.

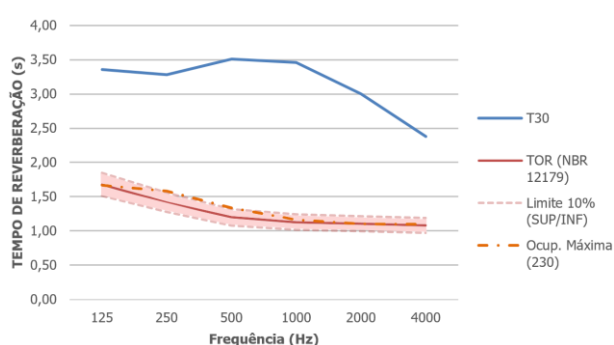


Figura 10: T_{30} x TOR NBR 12179 [19], considerando a ocupação máxima simulada.

4.2 Relações entre níveis de energia sonora

De modo geral, nos resultados de C_{50} e C_{80} constatou-se que os valores globais em todos os pontos e bandas de frequências analisadas são negativos e, portanto, inadequados para o ambiente acústico de igrejas segundo Jones [7]. Por sua vez, as recomendações de Marshall e Klepper [22] também não são atendidos, uma vez que não há valores positivos no rol de dados, tampouco superiores a 3dB.

A baixa qualidade acústica deste caso, do ponto de vista da clareza, está relacionada à reverberação excessiva do espaço, que contribui

para o aumento do campo reverberante. Uma vez existente essa condição, seria necessário que o sistema sonoro fosse projetado de modo a melhorar a relação sinal-ruído nos pontos da audiência, fornecendo melhores níveis de som direto e com maior quantidade de energia sendo direcionada à plateia. Em razão do posicionamento e tipo das caixas utilizadas no PA, observa-se que muita energia sonora acaba sendo direcionada às paredes e teto, excitando ainda mais a reverberação da sala.

Embora todos os resultados observados estejam fora do espectro ideal, percebe-se tendência de decaimento de energia à medida que o ponto se distancia do PA, situação agravada pelo campo reverberante da sala e pela posição de instalação do sistema eletroacústico, conforme observado nas Figuras 11, em relação à C_{50} , e 12, para C_{80} .

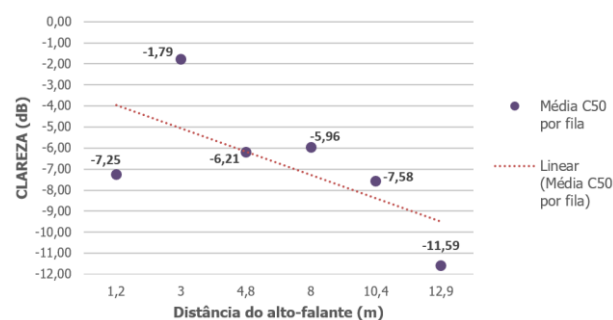


Figura 11: Resultados de C_{50} em função da distância do alto-falante

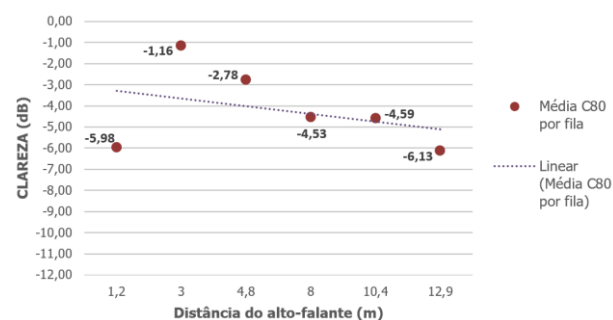


Figura 12: Resultados de C_{80} em função da distância do alto-falante

Quanto ao parâmetro Definição (D_{50}), quando considerados os resultados em seus valores globais, observou-se que em todas as situações descritas o resultado é inferior a 50%, o que mostra um Índice de Definição baixo para a igreja, o qual pode ser relacionado ao tempo de reverberação elevado.

Sequencialmente, avalia-se a distribuição do parâmetro ao longo da sala a partir do agrupamento entre os receptores por fila, conforme Tabela 1, e a média dos resultados entre as frequências de 500Hz e 1000Hz dos valores de medição com a fonte PA, de maneira análoga à ISO 3382-1 (ISO, 2009). O resultado, exibido na Figura 13, mostra a diminuição dos valores de D_{50} conforme o receptor se distancia da fonte sonora. A variação entre os valores mínimo e máximo obtidos é próxima a 40%. A primeira fila, embora próxima ao alto-falante, obtém o pior resultado que pode ser justificado pela diferença de altura entre fonte e receptor e pela diretividade da caixa de som.

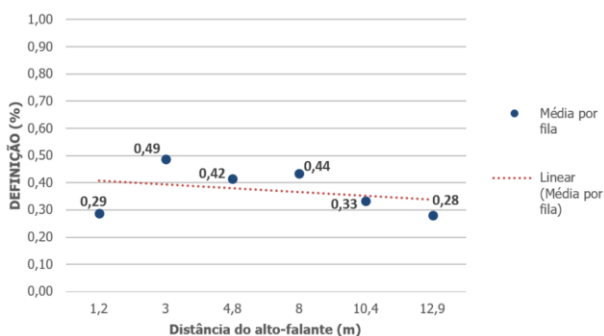


Figura 13: Resultados de D_{50} em função da distância do alto-falante

Comportamento semelhante é observado no parâmetro $\%AL_{CONS}$, uma vez que há aumento significativo à medida em que o receptor se distancia da fonte sonora, com variações em torno de 2%.

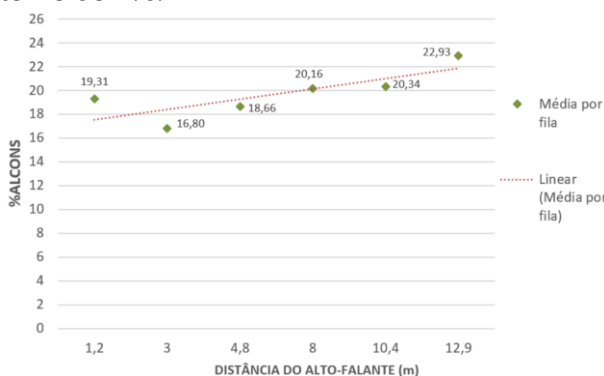


Figura 14: Resultados de $\%AL_{CONS}$ em função da distância do alto-falante

O espaço em questão, portanto, se mostra inadequado em relação aos critérios teóricos aplicáveis à obtenção de sua qualidade acústica. Os resultados obtidos em medição revelam a necessidade de adequação acústica do espaço

sobretudo para atendimento ao uso de palavra falada, predominante no ambiente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou que, embora representativa para a religião evangélica e para a arquitetura de valor histórico, a edificação analisada não apresenta boa acústica em razão de seu uso, o que se constata por meio da análise de todos os parâmetros objetivos descritos. Na igreja em estudo, observou-se que o aumento na absorção pelo público pode significar um importante recurso de projeto, e futuras pesquisas que aprimorem a influência deste critério podem servir para melhor entendimento da qualidade acústica deste exemplo. Vale ressaltar que a análise de audiência se apoia estritamente na absorção indicada pela literatura, em referência mencionada no processo de cálculo para cada item, o que não se configura como um argumento isento de questionamento.

Além disso, este trabalho faz surgir a necessidade de estudos posteriores que avaliem a qualidade acústica de igrejas com ênfase no usuário, para que seja possível verificar em que grau as condições acústicas descritas – além dos aspectos normativos – implicam em aceitação ou rejeição pelo expectador no âmbito da atividade prevista. De acordo com os resultados observados, considera-se que para o caso estudado a ocupação máxima pelo público implica em condição influente no efeito acústico desejável, uma vez que este atributo – em simulação – permitiria que o espaço estudado pudesse atingir o grau de qualidade que a NBR 12179 [19] preconiza.

Além do aspecto descritivo do trabalho, em que se analisa a condição do ambiente acústico por meio dos parâmetros obtidos em medição, o trabalho destaca a importância da interação entre acústica arquitetônica e eletroacústica no intuito de ambas permitirem alcançar a qualidade acústica desejável ao ambiente de culto, uma vez que alguns parâmetros – a exemplo de C_{50} , C_{80} e D_{50} – apresentem valores menos desfavoráveis quando em posições de receptor localizadas na área de influência do alto-falante, mesmo em ambiente de



reverberação excessiva. Portanto, recomenda-se a correção do espaço por meio de ambos os projetos.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro à pesquisa de Mestrado do autor José Eugenio Silva de Moraes Júnior, que deu origem a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, Luciana da Rocha; PINTO, Débora Nogueira; ARAÚJO, Virgínia Maria Dantas; ARAÚJO, Bianca Carla Dantas. Mapeamento acústico da concentração de denúncias de poluição sonora em Natal-RN. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente construído – ENTAC. Maceió-AL, 2014.
- [2] ARAÚJO, B. C. D; BELDERRAIN, M. L; PALAZZO, T. H. L; BISTAFA, S.R. Análise da Qualidade Acústica de uma Igreja por Comparação entre Métodos de Medição e Simulação Computacional. In: V Congresso Iberoamericano de Acústica. Santiago, Chile, 2006.
- [3] SOUZA, Ingrid Knochenhauer de. Performance acústica de uma igreja protestante de médias dimensões. 2016. Monografia (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- [4] OLIVEIRA, Jôssandra Rodrigues de. INTERFERÊNCIA DO FORRO PARA MELHORIA DA QUALIDADE ACÚSTICA EM TEMPLO EVANGÉLICO: ESTUDO DE CASO. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, 2017.
- [5] MORAIS JÚNIOR, José Eugenio Silva de. Acústica de igrejas: Estudos de caso da qualidade acústica em templos evangélicos com diferentes usos sonoros. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2020.
- [6] MORAIS JÚNIOR, José Eugenio Silva de; ARAÚJO, B. C. D.; MAIORINO, A. V. ESTUDO DAS CONDIÇÕES ACUSTICAS DE UM TEMPLO RELIGIOSO PROTESTANTE DA CATEGORIA “EXPERIENCIAL” EM NATAL/RN. In: XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. João Pessoa/PB, Brasil, 2019.
- [7] JONES, Douglas R. SOUND OF WORSHIP - A Handbook of Acoustics and Sound System Design for the Church. Burlington: Elsevier, 2011.
- [8] REYMOND Bernard. L’architecture religieuse des protestants. Genève: Labor et Fides, 1996.
- [9] LOTH, Calder. The Gibbs Church: A Paradigm for America. In: Institute of Classical Architecture and Art. Published 2 Nov 2011. Disponível em: <https://www.classicist.org/articles/the-gibbs-church-a-paradigm-for-america/>. Acesso em Jan 2019.
- [10] TEIXEIRA, Rubenilson Brazão. Três igrejas nordestinas e uma só origem formal – parte I. In: Administração eclesiástica, Rio de Janeiro, v. 01, p. 29-34, 1993.
- [11] CAVALCANTI, Robinson. Protestantismo brasileiro: uma confusa arca de noé. 2000. In: Ultmato Online v.263. Disponível em: <http://www.ultmato.com.br/revista/artigos/322/liturgia-e-culto-reflexoes-a-luz-das-escrituras-e-da-historia-crista> Acesso em 20 Jan 2019.
- [12] BISTAFA, Sylvio Reynaldo. Acústica Arquitetônica: Qualidade Sonora em Salas de Audição Crítica. Descrição Detalhada. São Paulo: CNPq, 2003. 25p.
- [13] _____. Acústica aplicada ao controle do ruído. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2011.
- [14] BRANDÃO, Eric. Acústica de salas: Projeto e modelagem. São Paulo: Blucher, 2011. 1.ed.
- [15] SOUZA, Léa Cristina Lucas de; ALMEIDA, Manuela Guedes de; BRAGANÇA, Luís. Be-a-bá da acústica arquitetônica: Ouvindo a arquitetura. São Carlos: EdUFSCar, 2012. 149 p.
- [16] SILVA, Pércles. Acústica Arquitetônica e Condicionamento de Ar. Belo Horizonte: Editora Termo Acústica, 1997.
- [17] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 3382-1. Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part. 1: Performance Spaces. Geneva, 2009.
- [18] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- [19] _____. NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- [20] CARVALHO, Régio Paniago. Acústica Arquitetônica. Brasília: Thesaurus, 2010.
- [21] DE MARCO, C. Elementos de Acústica Arquitetônica. São Paulo: Nobel, 1982.
- [22] MARSHALL, L. G; KLEPPER, D. L. Acoustical Design: Places for Listening. In: CAVANAUGH, William J. TOCCI, Gregory C. WILKES, Joseph A. (editors). Architectural acoustic: Principles and practice. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [23] LONG, M. Architectural Acoustics. Burlington: Elsevier, 2006.
- [24] GERGES, S.N.Y. Ruído, Fundamentos e Controle. Ed. UFSC:1992.