XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ESTUDO DAS CONDIÇÕES ACUSTICAS DE UM TEMPLO RELIGIOSO PROTESTANTE DA CATEGORIA "EXPERIENCIAL" EM NATAL/RN

José Eugenio Silva de Morais Júnior; (1); Bianca Carla Dantas de Araújo (2); Alexandre Virginelli Maiorino (3);

(1) Professor, Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, eugeniomoraisj@gmail.com; Departamento de Engenharia Civil/UFRN, Campus Universitário, Av. Sen. Salgado filho, Lagoa Nova – Natal/RN; (84) 9 9818-3707;

(2) Professora, Arquiteta e Doutora em Arquitetura e Urbanismo, dantasbianca@gmail.com; Departamento de Arquitetura/UFRN, Campus Universitário, Av. Sen. Salgado filho, Lagoa Nova – Natal/RN, (84) 9 9418-6816;

(3) Professor, Doutor em Arquitetura, Tecnologia e Cidade; maiorino.alexandre@gmail.com; Escola de Música/UFRN, Campus Universitário, Av. Sen. Salgado filho, Lagoa Nova – Natal/RN, (19) 9 8214-9617.

RESUMO

Igrejas evangélicas são espaços em que predominam usos acústicos distintos e simultâneos, como música e palavra falada. A literatura reconhece a existência de duas divisões principais dentro da categoria, a saber: as igrejas *tradicionais,* vinculadas à ideia original da reforma protestante, e as *experienciais,* que se configuram como uma manifestação contemporânea de culto centrada na experiência do usuário por meio da música. Com base nisso, este trabalho visa caracterizar, do ponto de vista acústico, uma igreja evangélica do estilo experiencial na cidade de Natal/RN, considerando suas particularidades de culto e os recursos de amplificação sonora instalados. Os procedimentos metodológicos incluem medição acústica in-loco de parâmetros como TR, EDT, C80, C50, D50 e $\%AL_{CONS,}$ obtidos por resposta impulsiva a partir da excitação sonora emitida pelo próprio sistema eletroacústico existente, e medição do nível de pressão sonora durante atividades distintas da edificação, em funcionamento. Os resultados mostram a existência de problemas acústicos como o *flutter echo*, decorrente do paralelismo das superfícies laterais, reverberação excessiva nas altas frequências, além da existência de pontos específicos de audiência com baixo índice de clareza e definição, que se relacionam prioritariamente com a posição dos receptores em relação à fonte sonora. O estudo permite concluir que, apesar dos recursos de reforço sonoro contribuírem para uma boa clareza no ambiente, a presença destes não descarta a necessidade de intervenção na igreja em análise por meio do projeto acústico.

Palavras-chave: acústica de igrejas, igreja evangélica, eletroacústica.

ABSTRACT

Evangelical churches are places where different and simultaneous functions prevail, such as: music and speech. The literature recognize that there are two main divisions inside this category: traditional churches, linked to the original idea of the protestant reform, and experiential church, which is characterized as a contemporary manifestation of worship focused on the user's experience through music. Based on that, this article aims to characterize, from an acoustic viewpoint, an evangelical experiential church in the city of Natal/RN, considering its particularities of worship and the sound amplification system installed. Methodological proceadures include acoustic measure of acoustic parameters TR, EDT, C80, C50, D50 and $\%AL_{CONS}$, from impulsive responses obtained from the sound excitation of the electroacoustic system. It was also measured the equivalent sound pressure level during distinct parts of the cult. Results showed acoustics problems such as flutter echo, due to the parallelism from opposite walls, excessive reverberation on high frequencies, and some specific points of the audience with low levels of clarity and definition, which derive primarily from the receiver's position regarding the sound source. This study allows concluding that even though the resources of sound reinforcement contribute to a good clarity, it does not discard the need for an acoustic intervention.

Keywords: Acoustics in churches, evangelical church, electroacoustic

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que a religião cristã evangélica é uma modalidade que tem crescido consideravelmente no Brasil nos últimos anos. Em geral percebe-se que as respectivas construções, destinadas aos cultos, muitas vezes ocorrem sem um projeto pré-definido de arquitetura (LIMA, 2008) e consequentemente de tratamento acústico, o que contribui para que esta tipologia seja apontada como fonte geradora de ruído, e até mesmo "sala de audição crítica" (ARAÚJO et. al, 2006), devido à excitação da sala provocada pelo elevado nível de pressão sonora quando em atividade.

As igrejas evangélicas também são definidas por alguns autores como sendo "espaços de múltiplo uso" (CUNHA, 2014; OLIVEIRA, 2017), pela existência de fala e música num mesmo ambiente, durante a mesma sessão de funcionamento. Ao assumir que ambos os usos são condições antagônicas no que diz respeito aos requisitos para condicionamento acústico, tem-se então uma situação de compatibilização configurada como complexa de definição, pela multiplicidade de funções envolvidas.

Nesse contexto, o presente trabalho busca identificar quais parâmetros objetivos de condicionamento acústico podem refletir a qualidade desejada às igrejas evangélicas a partir do estudo de suas particularidades de culto, pois a literatura brasileira – inclusive a NBR 12179 (ABNT, 1992) – apresenta valores de referência para o Tempo de Reverberação da "igreja protestante" sem fazer diferenciação entre denominações e atividades específicas.

Estudos apontam que a religião evangélica se divide em duas grandes categorias: as tradicionais, que resguardam em seus princípios os ideais da reforma protestante sem muitas adaptações, e as "experienciais" (JONES, 2011, tradução nossa), que assumem uma identidade diferenciada a partir da experiência de movimentos alternativos surgidos na contemporaneidade, os quais se desdobram em novas posturas de culto. Ambas as categorias apresentam ainda inúmeras ramificações cujas particularidades não influenciam este estudo até o presente momento. Esta classificação básica implica, de alguma forma, em modos de funcionamento diferenciados no que tange à distribuição sonora dos usos acústicos durante o culto, no qual é possível identificar uma proporção fala-música em graus distintos de importância.

Sobre a tipologia experiencial, ou *seeker-sensitive* (JONES, 2011)[9], é uma modalidade de culto centrada na ideia de que "a música está no centro da experiência" (ibid., p. 160, tradução nossa) do usuário, que deseja encontrar-se com Deus. Neste caso, o papel do sistema eletroacústico assume maior grau de protagonismo, pois, juntamente com as características absortivas da sala, forma-se um aparato técnico que permite criar o ambiente tão desejado ao culto proposto.

Com base nisso, propõe-se uma abordagem de identificação dos aspectos de conforto mediante o estudo aprofundado dos usos acústicos de um caso específico, de modo que o método de medição e mensuração dos parâmetros objetivos possa predizer, assim, a qualidade desejada ao culto, observando as características do sistema eletroacústico instalado.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é investigar a qualidade acústica de uma igreja evangélica de categoria experiencial por meio da avaliação dos parâmetros acústicos obtidos com auxílio do sistema eletroacústico existente, a fim de verificar sua relação com as condições arquitetônicas do espaço.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Caracterização do objeto de estudo

3.1.1. Descrição da edificação

A edificação escolhida para o estudo consiste numa igreja vinculada à religião cristã evangélica de categoria experiencial. Está localizada no bairro de Capim Macio em Natal/RN, numa área de aproximadamente 1500m² cujos ambientes distribuem-se em dois pavimentos e incluem recepção, auditório (espaço de realização dos cultos), livraria, espaço *lounge*, copa, depósito, banheiros, espaço *kids* com 06 salas e apoio administrativo com 14 salas.

A atividade principal da edificação – o culto religioso – ocorre no auditório, que possui 520m² incluindo palco, plateia e multimídia, que é o espaço em que são feitos os ajustes de projeção, som e iluminação (Figura 01). Possui capacidade de 270 assentos determinados em projeto, muito embora esta

[9] Cuja tradução sugere o termo "sensível aquele que procura" ou "sensível ao candidato", entendido aqui como o expectador ou fiel que busca encontrar-se com o sagrado.

quantidade seja excedida na maior parte dos cultos e o público excedente, acomodado em cadeiras extras ou em pé. O auditório consiste na adaptação de um ambiente tipo "galpão", e a edificação como um todo é fruto de uma reforma[10] de espaço existente de uso anterior desconhecido, ao qual foi acrescentado um anexo.



Figura 01 – Planta do pavimento térreo da edificação, com ênfase no auditório onde são realizados os cultos. Fonte: Elaborado pelos autores a partir de projeto existente.

Quanto ao sistema construtivo, a edificação foi executada com estrutura de concreto pré-moldada e alvenaria de tijolo cerâmico, com cobertura de telha tipo fibrocimento apoiada sobre madeiramento, sem laje. Todas as salas possuem forro, sendo algumas delas do tipo mineral microperfurado (auditório e sala de ensaio, no apoio administrativo) e as demais de gesso acartonado liso. As paredes do auditório são todas lisas, paralelas e pintadas com tinta acrílica, e o piso é revestido por carpete no palco e área de público.

3.1.2 Condições de funcionamento

Os cultos típicos ocorrem aos Domingos, nos períodos de 9h, 11h, 16h, 18h e 20h, com duração de aproximadamente 1h30min. Devido à grande quantidade de público, esta divisão de horários permite que uma mesma celebração seja assistida por várias pessoas diferentes no mesmo dia, ou seja, há uma repetição da mesma atividade em 05 momentos distintos. Para efeito de caracterização, ao longo do mês de Abril de 2019 foi realizada uma análise *in-loco* da distribuição média de público ao longo dos horários de funcionamento (Tabela 01).

Tabela 01 – Distribuição média de público em relação aos horários de culto, verificada em Abril de 2019. Fonte: Elaboração dos autores.

Horário	9h	11h	16h	18h	20h
Público	350	521	493	570	615

De modo geral, o culto realizado divide-se em 04 momentos: I) Louvor; II) Oração; III) Recepção; e IV) Mensagem. O primeiro deles é o Louvor, realizado na abertura do culto por uma banda cujo estilo de música se aproxima do pop-rock, com ligação ao estilo gospel norte americano devido à filiação ideológica da igreja. Este tipo de música caracteriza-se por instrumentos como piano eletrônico e teclados, bateria, guitarras, contrabaixo e *sample*[11]. O momento do louvor dura aproximadamente 20 minutos e é seguido do momento de Oração, que dura 05 minutos.

Em seguida, há o momento de Recepção, onde um representante da igreja se apresenta aos visitantes e dá as boas-vindas. Há ainda neste momento o ofertório, destinado aos membros, além dos anúncios gerais da comunicação e dos eventos futuros. Este momento é de transição e dura entre 10-15 minutos, sendo sequenciado pela Mensagem que consiste na pregação da palavra pelo pastor. Este último dura em média 40 minutos, e possui predominância de palavra falada apesar das intervenções musicais e orações introduzidas no meio do sermão de maneira intercalada, a critério do ministrante, fazendo com que a atividade "musical" aconteça com maior presença a depender do dia.

3.1.3 Sistema eletroacústico instalado

[10] Projeto de reforma cedido gentilmente pela igreja para esta pesquisa.

[11] SAMPLE é uma técnica sonora utilizada geralmente na música eletrônica (house, deep, break-beat, etc), no pop e no R&B (Soul), que consiste na adição de um som já existente à composição, criando uma releitura da música tocada através da mistura/mixagem de diferentes efeitos.

De acordo com Silva (2002), a utilização de som amplificado se faz necessária em virtude da voz humana irradiar cerca de 50dB, a dois metros da origem da fala. Desta forma, em grandes auditórios, teatros e igrejas, em que o volume ultrapassa o valor de 1360m³, devem ser previstos estes recursos. Em resumo, um sistema eletroacústico corresponde ao conjunto de canais (microfones e instrumentos musicais, por exemplo), ligados a um amplificador que se comunica com vários alto-falantes, ou seja, as caixas de som (ibid., p. 136).

Na igreja em questão, o sistema instalado é do tipo *Line Array*, que corresponde ao uso de caixas acústicas de alta performance sobrepostas uma em cima da outra formando um *cluster* vertical, alimentadas por microfones, instrumentos sonoros e reprodutores de áudio, que transmitem o sinal sonoro até uma mesa de som – localizada ao fundo da plateia – por meio de cabos polarizados. Neste sistema, é previsto ainda o uso de caixas específicas para reforço dos sons graves, a exemplo dos *Subwoofers*.

Na configuração atual, o espaço conta com 8 caixas amplificadas *Mark Audio* modelo LMK-8 de 825W e pressão sonora máxima de 128 dB(A) próximas ao palco, sendo 4 em cada extremidade lateral direcionada ao público. Não há outras caixas distribuídas ao longo das paredes laterais do auditório. No dia da medição, cada conjunto de 4 caixas se encontrava apoiada no chão do palco, em cima de um dos Subwoofers. Além disso, o sistema conta com 02 caixas exclusivas para retorno dos cantores e comunicadores, com exceção dos instrumentistas que se utilizam de retorno sonoro *in-ear*.

3.2 Parâmetros de avaliação acústica

O primeiro parâmetro em questão, que permite caracterizar a atividade acústica realizada, é o Nível de Pressão Sonora – NPS, medido em dB, que expressa a sensação de som em relação ao estímulo físico gerado por uma fonte (SILVA, 2002). Se a propagação sonora é esférica, entende-se que energia sofrerá decaimento à medida que se afasta da fonte (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2012) e, portanto, terá menor valor nos assentos posicionados ao fundo da plateia. Se este nível sonoro não for superior ao ruído residual em no mínimo 6dB, poderão ocorrer problemas de compreensão da fala ou de mascaramento do som emitido (BARRETO, 1991).

Ao tratar acusticamente um espaço interno para o condicionamento, objetiva-se, além da adequação geométrica das superfícies, o controle do parâmetro denominado Tempo de Reverberação – RT60, que é o tempo (em segundos) necessário para que o som sofra um decréscimo de intensidade de 60dB dentro de um ambiente (ABNT, 1992), influenciado pelo volume da sala e pela natureza de seus materiais de revestimento, que podem ser de absorção ou reflexão (SOUZA, ALMEIDA e BRAGANÇA, 2012). Então, pode-se dizer que o condicionamento acústico é consequência do equilíbrio entre absorção e reflexão, na proporção determinada pela exigência do uso acústico da atividade (BISTAFA, 2011).

As recomendações para valores de TR baixos indicam que o espaço deve ser pouco reverberante, e isto se associa a boas condições de inteligibilidade da fala. Por outro lado, a medida em que o nível de reverberação aumenta e a compreensão da palavra falada diminui, o espaço tende a se tornar qualificado para usos "musicais", ou seja, aqueles cujo predomínio é de sons que devem persistir no ambiente (GERGES, 1992). Desta forma, ambientes como salas de ensaio, salas de concerto, escolas de música, igrejas católicas em virtude do canto sacerdotal (SANTOS e OITICICA, 2005) tendem a ser mais reverberantes e, portanto, possuir valores de TR maiores.

Como o ideal de qualidade para o tempo de reverberação é definido em função de sua atividade, a literatura indica alguns valores ou gráficos de referência para auxiliar na determinação (ABNT, 1992; BISTAFA, 2011; CARVALHO, 2010; GERGES, 1992). A exemplo disso, a Figura 2 apresenta um gráfico extraído da NBR 12179 (ABNT, 1992), com a informação do Tempo Ótimo de Reverberação – TOR para cada uso acústico indicado, na banda de frequência de 500 Hz. Para a igreja em questão, cujo volume aproximado é de 2600m³, o TOR de referência encontrado foi de 1,3 segundos, considerando a curva intitulada "igreja protestante".

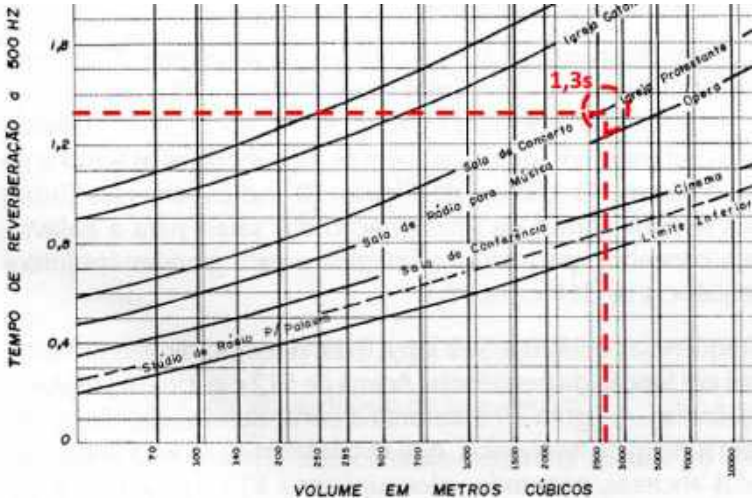

Figura 2 – Tempo ótimo de reverberação em banda de 500Hz, para diferentes usos. Fonte: NBR 12179 (ABNT, 1992), adaptado pelos autores.

Embora se afirme que o Tempo de Reverberação seja o principal parâmetro a ser analisado para qualificar um recinto fechado, alguns autores (BARRON, 2000; EGAN, 1988; LONG, 2006; BRANDÃO,

2011; JONES, 2011) mostram que existem outros parâmetros acústicos objetivos e subjetivos que são associados ao Tempo de Reverberação e permitem estabelecer relações não só entre as características do ambiente, como também das "sensações espirituais" (LIMA, 2008, p. 19) tão desejadas ao ambiente de culto. Dentre os parâmetros objetivos, além do Tempo de Reverberação (T60), medidos *in-loco* ou simulados por meio computacional, pode-se citar o Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Clareza Musical (C80), Clareza da fala (C50), Definição (D50) e Perda de articulação de consoantes (%AL_{CONS}).

3.3 Descrição do procedimento de medição

As medições acústicas da sala foram realizadas nos dias 27 de Março, 03 e 14 de Abril, ambos dias típicos para o clima local, sem incidência de chuvas ou interferências de atividades externas ao ambiente analisado. Foram realizados 02 tipos de medição, a saber:

- Medição do nível de pressão sonora equivalente ponderado em A – L_{Aeq} no interior do auditório em período de funcionamento, em pontos distintos conforme as atividades de culto;
- Medição dos parâmetros acústicos objetivos – TR, EDT, C50, C80, D50 e %AL_{CONS} – obtidos pela resposta impulsiva da sala vazia;

Além das medições, o tempo de reverberação do auditório em estudo foi calculado utilizando a fórmula matemática proposta por Sabine[12]. O cálculo foi realizado com base nos coeficientes de absorção dos materiais de revestimento da sala encontrados na literatura. Em virtude das incertezas quanto aos coeficientes de absorção reais, admitiu-se uma tolerância de 10%, inferior e superior, entre o valor obtido em medição e calculado matematicamente. Este simples cálculo também permitiu analisar em que medida a reverberação da sala é alterada pela audiência, em situação de lotação.

Para medição dos parâmetros acústicos, foi utilizada a técnica de resposta impulsiva. Os equipamentos utilizados para medição acústica foram 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 para o sistema sonoro. Durante a medição foram utilizados apenas os 8 PAs, mantendo-se Subwoofers e retornos desligados. 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.

Procurou-se observar as recomendações da norma ISO 3382-1 (2009) sempre que possível durante as medições. Assim, foram observadas as distâncias mínimas entre fonte e receptor, as alturas dos receptores, a distância mínima entre receptores e entre receptores e superfícies reflexivas. Os pontos de medição procuraram abranger a máxima área possível da audiência. A partir da determinação prévia dos pontos de medição, os parâmetros acústicos foram avaliados a partir da média aritmética de seus valores por banda de oitava, de modo a representar o ambiente como um todo. Para os parâmetros C80 e C50 foram realizadas as médias logarítmicas. 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.

Considerando que o sistema sonoro estava posicionado em 02 lugares distintos, utilizou-se apenas uma posição de fonte, ou seja, não foram alteradas as posições das caixas. Desta forma, criou-se um campo sonoro em que o impulso é emitido por duas fontes distintas, de mesma intensidade, e simultâneas. Por se tratar de um ambiente simétrico, foram estabelecidos 12 pontos de receptor, P1 a P12, em apenas um dos lados da sala, e outros 02 pontos, P13 e P14, que correspondem ao "espelho" dos pontos P5 e P10, respectivamente, no lado oposto, totalizando 14 pontos receptores, como pode ser observado na Figura 03.

[12] **RT60 = 0,161V/A** (em segundos), em que **"V"** corresponde ao volume do recinto, e "**A**", a absorção total da sala, ou seja, a soma dos produtos das áreas das superfícies com seus respectivos coeficientes de absorção (BISTAFA, 2011).

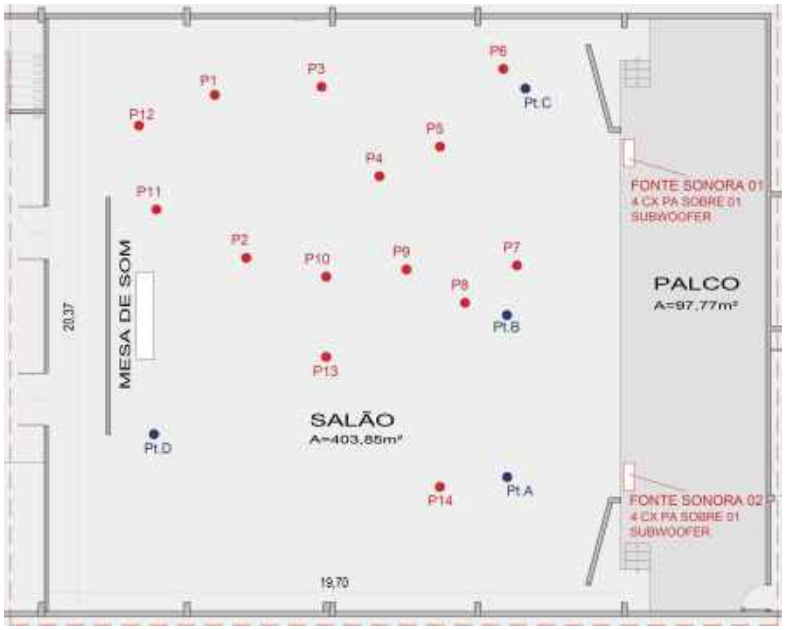

Figura 3 – Distribuição dos pontos de medição de ambos os métodos utilizados.
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de projeto existente

A medição do NPS foi realizada com auxílio de um Sonômetro *Instrutherm DEC-500* e outro *Solo 01dB*, ambos Classe 2 com função L_{eq} na ponderação A. Em ambos os equipamentos foi considerada a leitura dos valores globais. Este procedimento serviu para efeito de caracterização acústica das atividades realizadas durante o funcionamento da edificação. Procedeu-se esta etapa a partir da verificação do nível de ruído equivalente na ponderação A (L_{Aeq}) durante o culto, em 03 pontos (A, B e C) localizados no interior da edificação à distância de 4 metros das caixas de som, aproximadamente, e em um quarto, localizado no fundo da sala, próximo à mesa de som (Ponto D). A distribuição dos pontos de ambos os processos de medição é exibida na Figura 04. Este procedimento de medição ocorreu de 02 formas distintas, a saber: I) No momento destinado à música, observando-se os valores mínimo e máximo (Lp) de pico, e II) o valor médio durante 10 minutos (Leq), ambos na ponderação "A", em 04 pontos distintos. Por sua vez, no momento destinado à mensagem (palavra falada) a medição foi realizada a partir dos Pontos "A" e "D", mediante os mesmos critérios.

4. RESULTADOS E ANÁLISE

4.1. Nível de Pressão Sonora – NPS por atividade

Os valores dos Níveis de pressão sonora equivalente ponderados em A (LAeq) encontrados estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores obtidos para o NPS durante o funcionamento da igreja, por atividade. Fonte: Elaboração dos autores.

dB(A)	Música			Palavra Falada		
	L_{Aeq}	**L_p Mín.**	**L_p Máx.**	**L_{Aeq}**	**L_p Mín.**	**L_p Máx.**
Ponto A	107	83,1	114	88,5	56,1	99,6
Ponto B	104,1	73,2	111,5	-		
Ponto C	103,3	77,7	112,9			
Ponto D	96,7	-		84,4	54,5	98,6

É possível perceber que a realização do culto na categoria em análise implica num elevado nível de pressão sonora, sobretudo durante o momento da música, em que as pessoas cantam, dançam, pulam e se emocionam. A intensidade desejada ao culto típico desta natureza é tamanha, que aparentemente as pessoas sequer demonstram incômodo pelo nível sonoro elevado. Ao observar que no fundo do auditório o nível sonoro durante a música é de 96,7 dB (A), percebe-se que até os assentos mais afastados ainda se submetem a níveis sonoros elevados, condição que se torna prejudicial à saúde devido ao tempo de exposição.

Em relação à distribuição dos níveis sonoros por atividade, percebe-se que há grande diferença entre o NPS produzido pela música e pela palavra por várias razões, dentre as quais: A irradiação da voz humana, cujo espectro audível nunca será superior ao da música (SOUZA, ALMEIDA e BRAGANÇA, 2012); a

importância que esta modalidade de culto confere ao aspecto musical, ao valorizar o conjunto de instrumentos musicais e vozes, ao trabalhar com níveis de pressão sonora intensos; e, por fim, à própria dinâmica empregada na propagação da mensagem, que alterna entre momentos intimistas e silenciosos com outros de provocações ao público, que reage com aplausos e vibrações.

4.2. Reverberação

Para analisar a performance da sala quanto à reverberação, foram assumidas algumas considerações. Inicialmente, buscou-se avaliar os valores de TR obtidos em medição em relação ao TOR previsto na NBR 12179 (ABNT, 1992), considerando as faixas de tolerância inferior e superior no valor de 10%, também previstas na norma. Esta relação é verificada ainda em relação ao Tempo de Decaimento Inicial – EDT, de modo genérico, pois este parâmetro indica, dentre outros aspectos, a sensação de "reverberância" da sala.

Considerando os 14 pontos de medição distribuídos ao longo da sala, exibidos na Figura 03, optou-se por apresentar a média aritmética dos valores obtidos, por banda de frequência. O mesmo procedimento foi realizado com o EDT. A partir do valor de TOR de 1,3s, determinado para a igreja na banda de 500Hz, foi possível calcular os valores das demais bandas de frequência, conforme proposto por Bistafa (2011) que aplica um fator de correção ao TOR na banda de 500Hz.

A partir dos valores obtidos, foi gerado o gráfico apresentado na Figura 4, em que é possível visualizar: a) A relação entre o TR medido em campo, representado pela linha azul, e os valores calculados para o TOR a partir da NBR 12179, expressos na linha vermelha; b) as faixas de tolerância para o TOR calculado são expressas na área correspondente a cor rosa, com seus limites superior e inferior expressos por meio das linhas tracejadas na mesma cor; c) os valores para o EDT são representados, por sua vez, na cor verde.

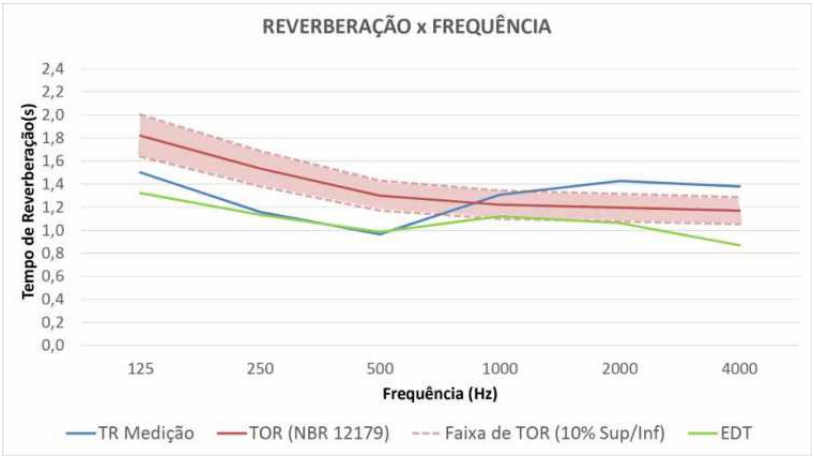

Figura 4 – Reverberação da sala em diferentes frequências. Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao observar os valores obtidos pela medição acústica e compará-los aos valores propostos pela norma percebe-se que o tratamento acústico atual da sala não proporciona uma distribuição homogênea do tempo de reverberação em função de frequência. Os valores das bandas de 125 Hz a 500Hz estão abaixo dos valores recomendados e há um aumento considerável nos valores do TR nas bandas mais agudas, de 1 kHz a 4kHz. O mesmo ocorre com o parâmetro EDT, porém em menor escala. Ainda, observa-se que nas altas frequências há uma diferença entre o TR e o EDT, em cerca de 0,5s, o que sugere que a sala é percebida como mais "seca" apesar de sua reverberação real. Isto pode ser justificado pela distribuição não homogênea de materiais de absorção na sala, uma vez que não há materiais de absorção nas paredes laterais e a maior área de absorção encontra-se no teto e em parte no piso, como também pela característica do forro existente, que possui bom rendimento apenas para as médias frequências, próximas da fala.

Em relação aos valores encontrados nas baixas frequências, considera-se que a condição é aceitável, pois a reverberação excessiva para os graves pode comprometer o desempenho dos *Subwoofers* instalados. Além disto, percebe-se que o comportamento dos valores de TR obtidos em medição até 500Hz é semelhante ao previsto pela norma, ou seja, segue a tendência de decaimento sugerida. Os altos valores de TR encontrados entre 1000 e 4000Hz são prejudiciais, sobretudo, à música, tendo em vista a predominância deste uso acústico na igreja em questão.

Por sua vez, a Figura 5 apresenta a diferença entre os valores de TR medidos e calculados matematicamente, para efeito de calibração do modelo de simulação de audiência da sala. Neste sentido, Carvalho (2010) mostra que a ocupação da sala pelas pessoas é um importante elemento de absorção sonora. Foi analisada então, em que medida a quantidade de público presente na igreja, de acordo com os valores apresentados na Tabela 01, influencia na absorção da sala. Para efeito de cálculo, utilizou-se os valores de absorção para pessoa sentada, cadeira estofada vazia e pessoa em pé apresentados na NBR 12179 que, por sua vez, foram extraídos de De Marco (1982).

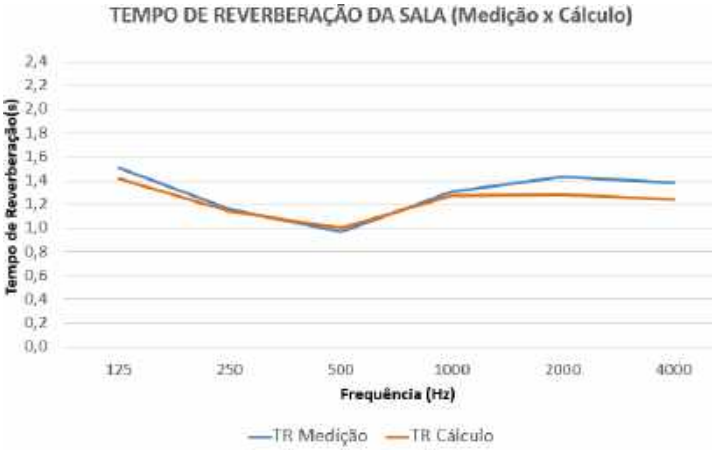

Figura 5 – Tempo de Reverberação da sala medido e calculado matematicamente. Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base nestas informações, é apresentada a Figura 6, na qual é possível perceber: Em vermelho, os valores simulados para a sala vazia; em azul, o tempo de reverberação correspondente a ocupação prevista em projeto, de 270 pessoas sentadas; e em verde, o valor de TR calculado para a ocupação máxima observada cujo valor é de 615 pessoas, distribuídas entre 270 pessoas sentadas e 345 pessoas em pé. Com base no gráfico, é possível perceber que na audiência prevista em projeto há pouca discrepância em relação à sala vazia, visto que não foi determinada uma ocupação excessiva. Porém, o crescimento da igreja e aumento de público mostra que a reverberação existente no momento do culto é muito inferior à obtida em medição com a sala vazia, que por sua vez, já apresenta divergências em relação ao TOR previsto pela norma. Entretanto, a absorção causada pelas pessoas na situação da igreja com o máximo de público faz com que o Tempo de Reverberação da sala se torne mais homogêneo ao longo das frequências, contribuindo para um melhor equilíbrio sonoro.

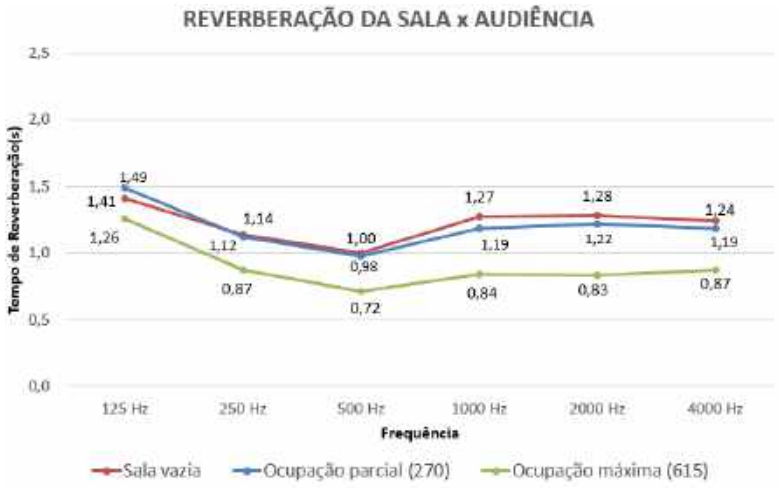

Figura 6 – Influência da audiência na reverberação, em diferentes frequências.
Fonte: Elaborado pelos autores.

4.3. Aspectos de Inteligibilidade e Clareza

Ao analisar os resultados dos parâmetros C80 e C50, Jones (2011) afirma que quando os valores de C80 e C50 encontrados em igrejas são negativos, a posição do ouvinte em questão encontra-se recebendo maior energia refletida do que direta e, por consequência disto, o índice de clareza é menor tanto para a palavra falada quanto para a música, sendo preferíveis, portanto, os valores positivos. Adelman-Larsen (2014) acrescenta que para estilos musicais como *pop* e *rock*, distantes da música erudita e com maior grau de síncope, a faixa de energia compreendida nos primeiros 50ms já é longa o suficiente para analisar, além da voz cantada, a clareza percebida na harmonização musical.

Para efeito de observação dos parâmetros de Clareza para a sala como um todo, é estabelecida uma setorização, com a média aritmética de pelo menos 3 pontos, visto que a distribuição dos pontos não é necessariamente linear. Os valores globais, obtidos através das médias aritméticas de 500 e 1000Hz conforme ISO 3382-1 (2009), apresentam-se positivos em todas as posições de receptor e, portanto, adequados.

Ao observar os valores conforme o setor, é possível verificar que há tendência de diminuição de C80 e C50 à medida em que o receptor se distancia da fonte sonora, de modo que os pontos localizados à frente da caixa apresentam valores médios próximos de 9dB para a música e cerca de 6dB para a fala, enquanto aqueles posicionados ao fundo possuem média em torno de 1,5dB e cerca de 4dB para fala e música, respectivamente. Nos setores de transição, ou seja, aqueles localizados no meio da audiência, os valores de clareza são próximos, sem grandes variações. Os maiores valores encontrados em ambos os parâmetros correspondem aos Pontos 4 e 5, que por sua vez estão na área de influência do som direto e próximos à fonte.

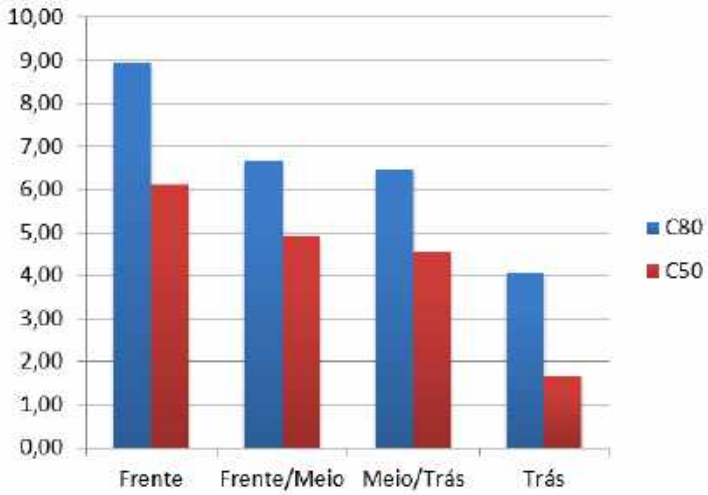

Figura 7 – Média do parâmetro Clareza – C50 e C80 em dB por setor do ambiente.
Fonte: Elaborado pelos autores.



Figura 8 – Trecho da curva ETC de um dos pontos analisados.
Fonte: Elaborado pelos autores com auxílio do Dirac 6.0.

Ainda, ao analisar a curva de energia em função do tempo, *Energy-Time Curve* – ETC de todos os pontos, percebe-se a existência de *flutter echo*, ou "eco palpitante" nas primeiras frações de segundo, antes mesmo do decréscimo total de 60dB. Uma demonstração gráfica deste problema pode ser vista na Figura 08, na qual percebe-se alguns picos de energia ao longo do decaimento sonoro. Isto evidencia a presença deste problema acústico em todo o salão da igreja, em virtude do paralelismo das superfícies laterais, que por sua vez são predominantemente reflexivas.

Analisam-se ainda outros parâmetros para se estabelecer relações sobre a inteligibilidade da fala, a exemplo da Definição (D50) e a Perda de Articulação de Consoantes (%AL_{CONS}). Os resultados médios aritméticos para D50, por frequência (Tabela 3), mostram que há um bom índice para a sala como um todo, com valores superiores a 60%. Os menores valores encontrados estão nas frequências baixas, entre 125Hz e 250Hz, e os melhores valores, superiores a 80%, nas altas frequências. Embora o TR obtido em medição mostre que no intervalo de 2000 a 4000Hz os valores da reverberação sejam maiores que no intervalo de 125Hz a 500Hz, os valores de EDT e D50 dão a evidência da sensação de uma sala mais "seca", e, portanto, mais propícia para o bom entendimento da palavra falada. Isso possivelmente acontece, assim como nos parâmetros C80 e C50, devido à diretividade e potência das caixas de som, fazendo com que boa quantidade de energia do som direto chegue ao ouvinte, consequentemente, melhorando a quantidade de energia inicial.

Tabela 3 – Valores médios obtidos para o parâmetro D50. Fonte: Elaboração dos autores.

D50 médio (%)	0,62	0,70	0,84	0,84	0,80	0,85
Frequência (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000

Quanto ao parâmetro %AL_{CONS}, extraem-se os valores relacionados ao STIPA, em virtude do método de medição utilizado. Considerando o intervalo entre 0 e 10% como ideal para inteligibilidade, todos os pontos medidos estão em condição desejável, em que o maior valor encontrado é de 5,11% para o Ponto 06, e o menor valor para o Ponto 05, que é de 2,42%. Isto mostra que todos os pontos são favoráveis para este parâmetro, e que o Ponto 05 é o mais bem avaliado dentre a amostra analisada. Percebe-se, portanto, que os pontos com menor %AL_{CONS} estão distribuídos em posições de influência direta do som emitido pelo PA, e que os valores mais afastados da caixa de som ou próximos às paredes apresentaram menor inteligibilidade que os demais.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo foi possível observar que a edificação em questão, correspondente à categoria evangélica experiencial, embora possua recursos técnicos de alta performance que se adequam ao tipo de culto realizado, apresenta em sua arquitetura alguns problemas acústicos que, apesar de minimizados pelo sistema de reforço sonoro existente, não descartam a possibilidade de correção por meio de um projeto acústico. Isto pode ser confirmado, por exemplo: Pela diferença nos valores entre TR obtido em medição e EDT, para o intervalo de 2000 a 4000Hz; pela ocorrência de reverberação com valores superiores nas altas frequências e pela relação inesperada entre os aspectos de definição (D50) e a reverberação da sala, que apesar de alta, apresenta bom ou excelente grau de compreensão da palavra falada.

Os baixos valores de EDT indicam a sensação de sala mais "seca" e, portanto, adequada à palavra falada e a música amplificada. Os valores altos de D50 indicam que a sala possui boa definição e por isso, não há problemas de compreensão do que é falado, o que, em virtude da condição reverberante da sala, só é possível devido à forte energia inicial proporcionada pelo sistema sonoro. Em geral, os parâmetros de Clareza – C80 e C50 – e o D50 tendem a piorar à medida em que a posição do ouvinte se distancia da área de influência direta do sinal emitido pelas caixas, ou se aproxima das superfícies das paredes, o que sugere a importância da boa distribuição dos alto-falantes para melhoria da abrangência do som na plateia.

Além disso, o paralelismo das superfícies laterais com materiais reflexivos também contribui para a obtenção dos resultados insatisfatórios, em geral, nos pontos localizados no centro da plateia e próximo às paredes, pela ocorrência de *flutter echo*. Portanto, como proposições gerais para o caso estudado, indica-se sobretudo a correção geométrica das superfícies ou colocação de materiais absortivos ou que proporcionem difusão sonora para evitar as reflexões laterais das paredes e o decaimento sonoro excessivo nas últimas fileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152:** Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ADELMAN-LARSEN, N. W. **Rock and Pop Venues.** Denmark: Springer, 2014.

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.

BARRETO, W. **Noções de Acústica Arquitetônica.** Recife: Faculdade de Ciências Humanas ESUDA, 1991.

BARRON, M. **Auditorium Acoustics and Architectural Design**. E&FN SPON. 2000

BRANDÃO, E. **Acústica de salas: Projeto e modelagem.** São Paulo: Blucher, 2011. 1.ed.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2011.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica.** Brasília: Thesaurus, 2010.

CUNHA, I. B. **A influência dos sistemas de reforço sonoro na qualidade acústica de igrejas católicas.** Campinas, 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, SP.

DE MARCO, C. **Elementos de Acústica Arquitetônica.** São Paulo: Nobel, 1982.

EGAN, M. David. **Architectural acoustics.** New York: McGraw-Hill, 1988.

GERGES, S.N.Y. **Ruído, Fundamentos e Controle**. Ed. UFSC: 1992.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382-1. Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part. 1: Performance Spaces.** Geneva, 2009.

JONES, D. R. **SOUND OF WORSHIP - A Handbook of Acoustics and Sound System Design for the Church.** Burlington: Elsevier, 2011.

LIMA, Fábio Ribeiro de. **Decibéis x fé: a questão acústica em igrejas evangélicas de Natal**. 2008. Monografia (Curso de Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

LONG, M. **Architectural Acoustics.** Burlington: Elsevier, 2006.

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.

SANTOS, Renata Oliveira dos; OITICICA, Maria Lúcia Gondim da Rosa. Análise da qualidade acústica em templos religiosos – Estudo de caso. In: **Encontro nacional de Conforto no Ambiente Construído.** Maceió/AL, 2005.

SILVA, Pérides. **Acústica Arquitetônica e Condicionamento de Ar**. Belo Horizonte: Editora Termo Acústica, 2002.

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.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro à um dos pesquisadores.