

**Avaliação da qualidade acústica em uma sala de aula por meio de simulações e medições**

**Eriberto Oliveira do Nascimento**

Doutorando em Engenharia Mecânica, Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico, UFPR, Brasil.  
eriberto.on@gmail.com

**Paulo Henrique Trombetta Zannin**

Professor Titular Dr. -Ing., Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico, UFPR, Brasil  
paulo.zannin@gmail.com

## RESUMO

A qualidade acústica numa sala de aula impacta diretamente a relação educacional entre o aluno e o professor, por diminuir a inteligibilidade da fala, além disso, uma acústica deficitária onera a saúde vocal dos professores. Esse trabalho objetivou avaliar uma sala de aula da Universidade Federal do Paraná, Campus Centro Politécnico para verificar a qualidade acústica. As medições dos descritores (TR), Definição (D50), Tempo Central (Ts), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) foram realizadas conforme a norma ISO 3382-2, em relação as Curvas de Ruído (NC) e o Ruído de Fundo (RF) essas foram avaliadas pela norma NBR 10152 e pela norma americana S12.2. O Speech Transmission de Index (STI) ou em português, Índice Transmissão da Fala foi mensurado segundo a IEC 60268-16 e avaliado conforme a ISO 9921. A Razão de Som Útil-a-Prejudicial (U50) e os demais descritores foram simulados no software ODEON versão 11. Dessa forma, em termos da qualidade acústica avaliando os descritores TR, STI, Ts, D50, RF e NC, os resultados mostraram que a sala avaliada não atingiu os requisitos mínimos. Simultaneamente, o TR e STI estavam fora dos limites estabelecidos pelas normas alemã e finlandesa. Conclui-se que a sala de aula avaliada não atingiu os requisitos mínimos de qualidade acústica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de Transmissão da Fala. Acústica de salas. Tempo de Reverberação. Qualidade acústica.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo de décadas consolidou-se a fundamental importância de estabelecer uma boa qualidade acústica em salas de aula. Atrélendo uma dependência funcional entre suas características construtivas, arquitetônicas e fatores que dependem majoritariamente da localização do estabelecimento escolar (ZHU et al., 2020). Assim, a gestão urbana deve ponderar o planejamento da localização estratégica dos estabelecimentos de ensino, priorizando zonas sem elevada exposição ao ruído (DO NASCIMENTO et al., 2021).

Nesse sentido, diversos descritores acústicos foram propostos para avaliar o efeito do ruído sobre a acústica das salas de aula. Muitos desses basearam-se em aspectos de razões energéticas da propagação do som, sob a teoria de difusão do som em campos acústicos definidos (MA; MAK; WONG et al., 2020). Estes descritores foram em sua maior parte normatizados internacionalmente, ou foram implementados na forma de legislações específicas ou recomendações técnicas. Cita-se nessa classe, os descritores como o tempo de reverberação (TR), Definição (D50), Tempo Central (Ts), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Razão de Som Útil-a-Prejudicial (U50) (ISO, 2008).

Outros descritores correlacionavam-se com aspectos estritamente subjetivos da fala e da percepção do som, nesta classe incluem-se as Curvas de Ruído (NC) e o Ruído de Fundo (RF) que são avaliados pela norma NBR 10152 (ABNT, 1987) e pela norma americana S12.2-2008 (ANSI/ASA, 2008). Para a avaliação de ruído em ambientes internos, como são os casos de salas de aula, é importante conhecer o Ruído de Fundo (RF). Este é compreendido como o nível de pressão sonora associado ao ruído residual, quando todas as fontes dentro do ambiente forem cessadas, de essa forma, o único ruído mensurado advém contribuições externas ao meio.

O *Speech Transmission de Index* (STI) ou em português, Índice Transmissão da Fala é o descritor mais consolidado para mensurar a inteligibilidade da fala. Dada a enorme gama de descritores na literatura, muitos estudos objetivaram quantificar as relações entre o STI e os descritores T30, D50, Ts, EDT, U50. Múltiplos trabalhos apresentaram discussões de estudos de casos, fornecendo a relação entre os descritores de inteligibilidade da fala, e como estes podem variar nas mais diversas condições em que as salas de aula se encontram (YANG; MAK, 2021; RANTALA; SALA, 2015, AUGUSTYŃSKA et al., 2010).

Esse trabalho objetivou avaliar a qualidade acústica de uma sala de aula utilizando os STI, T30, D50, Ts, EDT e U50 por meio de medições e simulações. Para tanto, comparou-se os valores medidos perante as normas de cada respectivo descritor. Em seguida, por meio de simulações acústicas, utilizando o software ODEON versão 11, verificou o efeito da atenuação espacial por meio de mapas acústicos, ou seja, o efeito da distância entre a posição da fonte e do receptor para cada descritor.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Medições do TR, T30, D50, Ts e EDT**

Para a medição do TR e dos demais descritores derivados da mesma curva de resposta impulsiva foram aplicados os procedimentos recomendados pela ISO 3382-2 (ISO, 2008). A instrumentação consistiu em: a) Software DIRAC 5.0 (B&K 7841) instalado no Notebook Sony VAIO; b) Placa de aquisição de áudio RME Fireface 800; c) Amplificador Lab. Gruppen LAB 300 e d) Analisador do nível de pressão sonora B&K 2260.

### **2.2 Medições do STI, RF e NC**

Para a medição do STI foram seguidos os procedimentos da IEC 60268-16 (IEC, 2011). Durante a medição a sala estava ocupada apenas pelos operadores. As portas e janelas quando possível foram mantidas fechadas, para diminuir a interferência de ruídos externos. O ruído de fundo foi mensurado pelo sonômetro Bruel e Kjaer 2260 em bandas de oitava, em uma única posição. O tempo de medição do ruído de fundo foi de 5 minutos, o NC foi calculado pelo Analisador B&k 2260.

Para as medições do STI, foi usado instrumentação eletrônica e de analisadores presentes no software B&K DIRAC versão 5 e no analisador B&K 2260. A instrumentação foi composta por: a) Software DIRAC 5.0 (B&K 7841) instalado no Notebook Sony VAIO; b) Placa de aquisição de áudio RME Fireface 800; c) Equalizador no modelo Behringer FBQ 800; d) Amplificador Lab. Gruppen LAB 300; e) Boca Artificial B&K 4227; f) Medidor e Analisador do nível de pressão sonora B&K 2260. Ao todo 25 pontos internos dos receptores foram mensurados no interior da sala.

### **2.3 Simulações acústicas**

A modelagem das salas foi realizada no software ODEON na versão 11 (Bruel & Kjaer). O ODEON é notadamente um dos programas mais consolidados na área de simulações acústicas. Este aplicou o Método Ray Trace, que consiste em modelar a propagação de ondas sonoras como se estas fossem raios ou feixe retilíneos que podem sofrer reflexão, absorção, difração (CHRISTENSEN, 2013). O processo de modelagem consistiu nas seguintes etapas:

- a) Modelagem das salas no software de Sketchup versão 2017. O Sketchup é um software do tipo CAD (Computer Aided Drawing);
- b) Criou-se camadas/layers de desenho na modelagem do Sketchup para representar cada material presente na sala de aula;

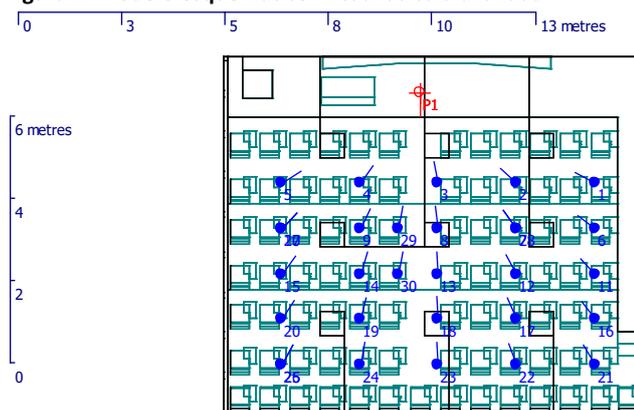
c) Exportou-se o modelo da sala de aula através do plug-in (SU2Odeon) com a extensão do arquivo (<nome\_arquivo>.par);

d) Efetuou-se a importação do modelo da sala do Sketchup proveniente do arquivo denominando, (<nome\_arquivo>.par), para o ODEON;

e) Com modelo da sala já presente no ODEON, designou-se para cada camada criada previamente no Sketchup um material. Cada material foi atribuído no “material list”, alocando o coeficiente de absorção nas bandas de oitava de 63 Hz até 8 kHz (madeira, concreto, piso, revestimento em geral).

As dimensões da sala foram largura de 10,00 m, comprimento de 8,70 m e altura de 2,95 m, o volume da 236,06 m<sup>3</sup>. A Figura 1 mostra o modelo virtual.

**Figura 1: Modelo esquemático virtual da sala avaliada**



Fonte: AUTOR, 2021

Para cada superfície relevante da sala foi adotado um valor para o coeficiente de absorção sonora em função do respectivo material, conforme mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1: Coeficiente de absorção sonora para as superfícies relevantes na sala modelada**

Superfície	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Piso	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
Hastes alumínio	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,07
Espaço de ventilação	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Madeira compensada das cadeiras	0,03	0,02	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02
Quadro	0,15	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	0,07
Porta de Madeira	0,14	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10
Parede	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Teto	0,15	0,19	0,21	0,32	0,41	0,49	0,53	0,53
Estofados poltronas	0,15	0,15	0,19	0,22	0,39	0,38	0,30	0,30
Janelas vidro comum	0,35	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,04
Audiência	0,07	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	0,54

Fonte: AUTOR, 2021

Os valores do coeficiente de absorção sonora foram retirados da biblioteca interna do software ODEON. Segundo a documentação do software ODEON (CHRISTENSEN, 2013), o procedimento de simulações dos descritores acústicos deve ser feito conforme as normas para as medições *in situ* conforme as seções 2.1 e 2.2.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Avaliação da Qualidade acústica

A Tabela 2 mostra os valores do ruído de fundo (RF) medido, do nível de pressão sonora equivalente (LAeq) e do respectivo valor da curva NC.

Tabela 2: Valores de Ruído de Fundo [dB] e curva NC

Frequência	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8kHz	NC	LAeq
Ruído de Fundo	52,6	48,3	38,6	32,2	32,0	29,9	23,0	19,5	35	38,2

Fonte: AUTOR, 2021

Com base no RF obteve-se o valor para a curva de ruído NC de 35. A Tabela 3 contém a comparação normativa da adequação do descritor NC, em relação as normas NBR 10152 e ANSI/S12.2:2008.

Tabela 3: Comparação normativa das curvas de ruído – NC [dB]

NBR 10152:1987			ANSI/ S12.2:2008		
Valor medido	Referência	Situação	Valor medido	Referência	Situação
35	35 – 45	Atende	35	25 - 35	Atende

Fonte: AUTOR, 2021

Com base na Tabela 3, segundo a norma Brasileira NBR 10152:1987 (ABNT, 1987) e a norma Estadunidense ANSI/S12.2:2008 (ANSI/ASA, 2008), a sala atende os requisitos da curva NC.

Segundo a Tabela 4, a sala encontrava-se fora dos valores recomendados para o tempo de reverberação segundo a norma NBR 12179 (ABNT, 1992). Todavia, a norma Estadunidense ANSI/ASA S12.60:2010 (ANSI/ASA, 2010) considerou a sala adequada. Salienta-se que se considerou a ponderação do volume da sala, portanto, adotou-se o volume de 350 m<sup>3</sup> para a consulta na NBR 12179 (ABNT, 1992).

Tabela 4: Comparação do TR [s] frente às normas

NBR 12179:1992 TR – 500 Hz				ANSI/ASA S12.60-2010: TR – 500 Hz, 1 kHz e 2 kHz			
Valor medido	Volume	Referência	Situação	Valor medido	Volume	Referência	Situação
0,60 s	350,00 m <sup>3</sup>	< 0,50 s	Não Atende	0,50 s	236,06 m <sup>3</sup>	< 0,60 s	Atende

Fonte: AUTOR, 2021

Na Tabela 5, mostra-se os resultados para o descritor D50. Na ISO 3382-2 (ISO, 2008) os valores de referência para o D50 são de 30% a 70%. Valores estes, considerados típicos de salas até 25000 m<sup>3</sup>. A norma alemã DIN 18041:2004 (DIN, 2004) recomenda o C50 ≥ 0 dB, que corresponde ao valor do D50 ≥ 50 %.

Tabela 5: Comparação do D50 frente às normas

ISO 3382-2:2008 – D50: 500 Hz e 1 kHz	DIN 18041:2004 D50: 125 Hz a 8 kHz	Ansay e Zannin (2016) QUALITATIVO
--	---------------------------------------	--------------------------------------

Medição	Referência	Situação	Medição	Referência	Situação	Medição	Referência	Situação
79%	30% a 70%	Não atende	76%	≥ 50 %	Atende	76%	> 50 %	Bom

Fonte: AUTOR, 2021

Logo verificou-se que o D50 gerou resultados ambíguos, uma vez que os requisitos da norma ISO 3382-2 (ISO, 2008) não foram cumpridos, enquanto para as outras normas atenderam os valores mínimos.

Na Tabela 6 contém os resultados para os descritores Ts e EDT, onde constou a não conformidade da situação acústica das salas, embora mesmo a sala apresentando um tempo de reverberação pequeno.

**Tabela 6: Comparação normativa do Ts e EDT**

ISO 3382-1:2009 Ts: 500 Hz e 1 kHz			ISO 3382-2:2008; EDT: 500 Hz e 1 kHz		
Valor medido	Referência	Situação	Medição	Referência	Situação
32,65 ms	60 ms a 260 ms	Não atende	0,50 s	1,0 s a 3,0 s	Não atende

Fonte: AUTOR, 2021

Qualitativamente o STI foi avaliado segundo as normas ISO 9921 (ISO, 2003) e a IEC 60268-16 (IEC, 2011). Os valores da relação sinal-ruído (RSR) foram consolidados na Tabela 7.

**Tabela 7: Relação Sinal-Ruído [dB] medido na sala de aula para o STI**

Frequência	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8kHz
Relação sinal Ruído	21,28	20,48	19,48	17,44	10,96	6,04	-9,32

Fonte: AUTOR, 2021

Ao ponderar os valores de RSR mostrados na Tabela 7, obteve-se um STI médio de 0,63 na sala, para os (n = 25 pontos). Por consequência, na Tabela 8 mostra os valores quantitativos do STI e sua adequação, segundo diversas normas internacionais.

**Tabela 8: Comparação da adequação dos valores medidos do STI por normas de diferentes países**

STI medido	DIN 18041:2004 Alemanha		SFS 5907:2004 Finlândia		BB93:2015 Inglaterra		ISO 9921:2003(E) Internacional	
	Ref.	Situação	Ref.*	Situação	Ref.	Situação	Ref.**	Situação
Valor médio 0,63	≥0,56	Atende	≥0,70	Não atende	≥0,60	Atende	≥0,60	Atende

\*Classe C, as demais classes são A e B ≥ 0,80.

\*\*Correspondente a condição de Comunicação de Pessoa para Pessoa, Nível razoável (Fair). Tabela 1 da ISO 9921:2003(E). Para o Fair rating o STI vale entre 0,45 e 0,60, o que IEC 60268-16:2011(E) corresponde ao STI de 0,60.

Fonte: AUTOR, 2021

A norma Finlandesa SFS 5907:2004 (SFS, 2004) estabelece os limites mais restritivos para o STI, seguidos na Inglaterra e posteriormente da Alemanha. Segundo a SFS 5907:2004 (SFS, 2004) a sala estaria com o STI não conforme. Por outro lado, o segundo a DIN 18041:2004 (DIN, 2004) e para a BB93 (DFE, 2015) e a ISO 9921 (ISO, 2003) a sala atende a todos os requisitos.

### 3.2 Efeito da distância nos descritores acústicos

Esta seção tem como objetivo demonstrar através do uso de simulações o efeito que a distância produz nos descritores Leq, STI, D50, U50, EDT e D50 usando os mapas de cores gerados pelo ODEON. Todavia, antes de adentrar ao objetivo dessa seção, deve-se verificar a validação das simulações. Os descritores T30 e STI foram utilizados para a validação.

Em relação ao tempo de reverberação T30 a Tabela 9 mostra o erro percentual entre o valor medido e o valor simulado, com um valor médio de -3%. Logo a sala foi considerada validada usando o tempo de reverberação como referência.

**Tabela 9: Erros na validação das salas simuladas para o T30 para n = 4 pontos**

Ponto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8kHz
Medido [s]	0,97	0,82	0,62	0,49	0,47	0,46	0,39
Simulado [s]	0,89	0,81	0,66	0,50	0,45	0,43	0,36
Erro [%]	-8,00	-1,00	6,00	2,00	-4,00	-7,00	-8,00

Fonte: AUTOR, 2021

Em relação ao STI os resultados da validação foram consolidados na Tabela 10.

**Tabela 10: Erros na validação do modelo virtual da sala simulada para o STI para n = 15 pontos**

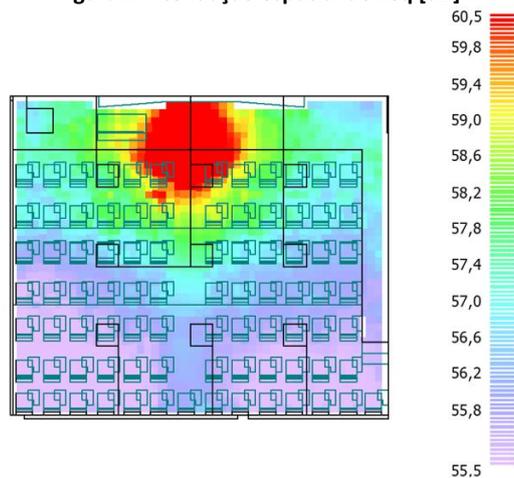
Ponto	Eixo X – [m]	Eixo Y – [m]	Eixo Z – [m]	STI medido	STI simulado	Erro %
Fonte Sonora*	1,50	2,50	1,50	--	--	--
1	1,20	3,10	1,45	0,60	0,64	7
2	3,10	3,10	1,45	0,65	0,67	3
3	5,00	3,10	1,45	0,67	0,72	7
4	6,90	3,10	1,45	0,66	0,71	8
5	8,80	3,10	1,45	0,61	0,63	3
6	1,20	5,30	1,55	0,61	0,59	-3
7	3,10	5,30	1,55	0,63	0,63	0
8	5,00	5,30	1,55	0,65	0,67	3
9	6,90	5,30	1,55	0,64	0,61	-5
10	8,80	5,30	1,55	0,62	0,63	2
11	1,20	7,50	1,65	0,61	0,62	2
12	3,10	7,50	1,65	0,62	0,61	-2
13	5,00	7,50	1,65	0,62	0,64	3
14	6,90	7,50	1,65	0,63	0,63	0
15	8,80	7,50	1,65	0,62	0,62	0

\*Posição da fonte sonora Boca Artificial B&K 4227

Fonte: AUTOR, 2021

Verificou-se que a sala estava validada para o STI, pois o erro médio foi de 2%, o que evidencia alta relação entre os valores simulados e medidos. De posse da sala devidamente simulada e validada, confeccionou-se os mapas dos descritores acústicos para verificar a distribuição espacial dos descritores em função do distanciamento. Com isso, a Figura 2 evidencia a alteração do Nível de Pressão Sonora Equivalente (Leq) no modelo virtual validado em função da distância entre a fonte e o receptor.

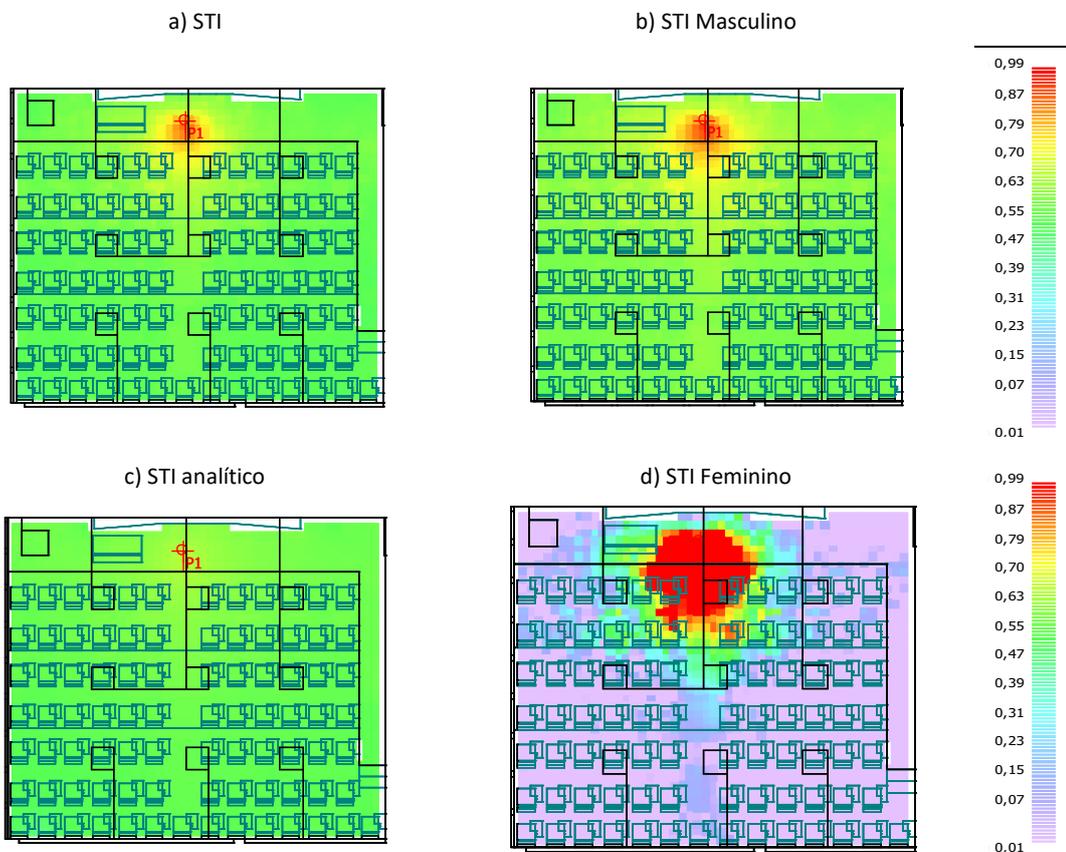
Figura 2: Atenuação espacial do Leq [dB]



Fonte: AUTOR, 2021

A Figura 3, evidência a comparação entre os métodos de simulação do STI alterando o filtro do envelope do espectro de frequências das vozes, que podem ser: o neutro (STI), a voz masculina (STI masculino), a voz feminina (STI feminino) e o método analítico (STI analítico).

Figura 3: Atenuação espacial do STI e a ponderação por sexo



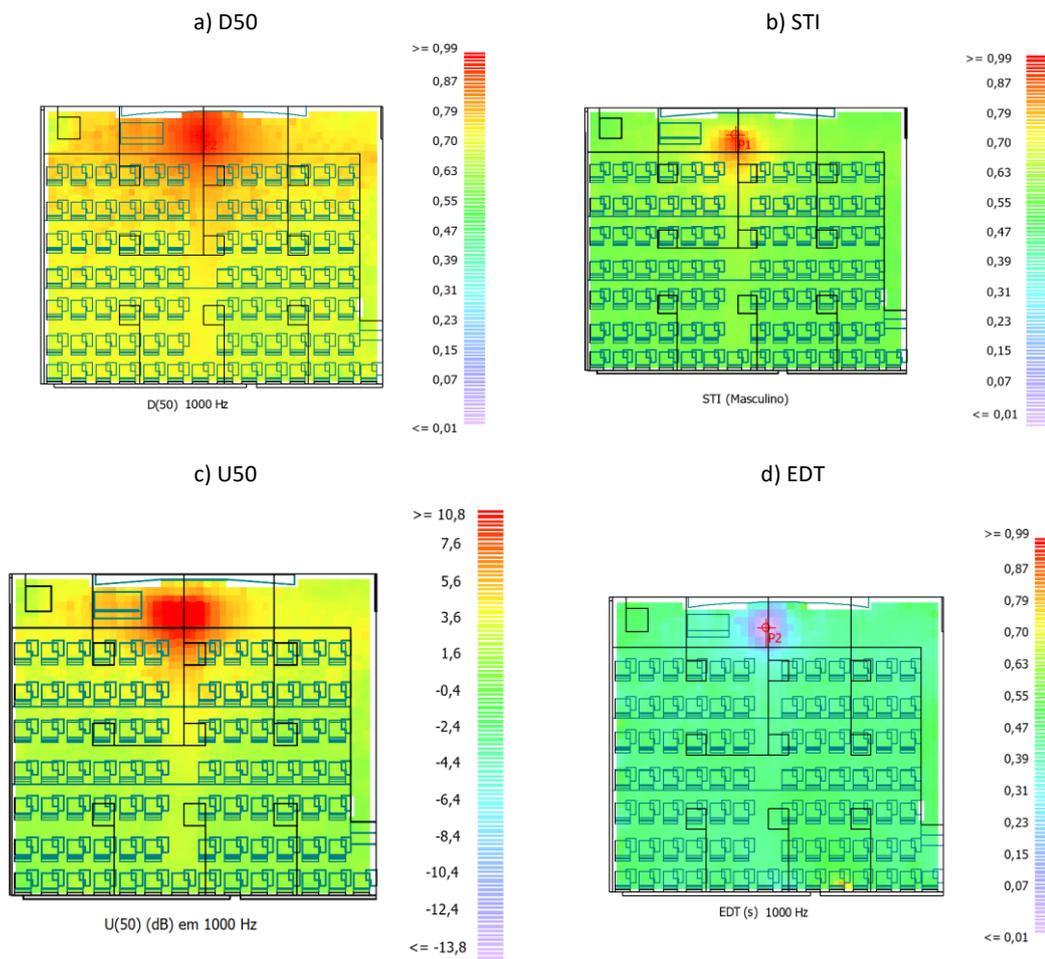
Fonte: AUTOR, 2021

Conforme a Figura 3, verificou-se que os efeitos dos filtros geraram resultados similares, mostrando a zona com maiores valores do STI próximo a fonte. A posição da fonte é

mostrada na Figura 1 e nesta verifica-se a atenuação do STI conforme o afastamento entre a fonte e a posição do receptor, que foi originalmente constatado na Figura 3. Similarmente, verifica-se, com base na Figura 4, como o U50 variou consideravelmente em função da distância entre a fonte e o receptor.

Assim, identificou-se um comportamento em comum entre as respostas do U50 e do STI. Por sua vez, mostrou-se a variação associada aos valores do EDT em função da distância entre a fonte e o receptor. Nesta, constatou-se o efeito que a distância tem sobre o EDT, revelando atenuação da energia direta no receptor para posições de afastamento elevadas, fato similar observado também no STI. Neste mesmo viés, os valores de D50, simulados com a fonte sonora dodecaédrica mostram ainda o efeito da redução do D50 conforme o afastamento entre a fonte e o receptor.

**Figura 4: Atenuação espacial do STI, D50, U50 e EDT em função da distância**



Fonte: AUTOR, 2021

Zannin, Ferreira e Sant'ana (2009) mediram o TR e simularam o STI, em cenários simulados aplicando o software ODEON versão 9.0. As medições foram realizadas em 8 salas da Universidade Federal do Paraná, construídas em prédios em diferentes décadas, 1963 e 2000. Os resultados indicaram grande influência das características construtivas, que interferem diretamente no TR e no STI simulados.

Campbell, Nilsson e Svensson (2015) mostraram que duas salas idênticas podem apresentar o mesmo tempo de reverberação, porém os demais descritores acústicos podem ser consideravelmente diferentes assim como os critérios para cada descritor pode resultar em diagnósticos diferentes.

Nos demais estudos realizados em salas de aula da Universidade Federal do Paraná (UFPR), no campus do Centro Politécnico, também foram verificados que a maioria das salas se encontra fora dos valores ótimos estipulados pela legislação (FERREIRA, 2006).

A não adequação acústica das salas de aula universitárias não é um fenômeno exclusivamente da UFPR, diversos trabalhos demonstram uma tendência internacional sob condições acústicas aquém dos níveis mínimos de qualidade (RANTALA; SALA, 2016; SECCHI et al., 2017; DONGRE et al., 2017; DO NASCIMENTO, 2018). No que tange sobre o STI essa situação é ainda mais preocupante, na medida que, devido à complexidade das medições e do custo da instrumentação envolvida, não existem muitas referências, principalmente a nível Brasil.

#### 4 CONCLUSÕES

Este trabalho teve os seguintes objetivos: avaliar acusticamente uma sala de aula da Universidade Federal do Paraná, Campus Centro Politécnico e realizar um estudo para verificar a qualidade acústica da sala ponderando diversos descritores para examinar o efeito do distanciamento entre a fonte e o receptor por meio de simulações.

Dessa forma, em termos da qualidade acústica avaliando os descritores TR - tempo de reverberação; STI - Índice de Transmissão da Fala; D50 - Definição e NC - Curvas de Ruído, os resultados mostraram que a sala avaliada não atingiu os requisitos mínimos, simultaneamente, para o TR e STI também estavam fora dos limites estabelecidos pelas normas. Isso demonstra que a Universidade Federal do Paraná deve dar mais atenção ao projeto acústico de suas salas. Com esta qualidade acústica deficitária, os professores e alunos podem estar sujeitos a altos níveis de estresse e aumento da pressão arterial, além da relação ensino aprendizagem ser prejudicada.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE (ANSI). **ANSI/ASA S12.2-2008**: Criteria for Evaluating Room Noise. Acoustic Society of America, Melville, NY 2008.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE (ANSI). **ANSI/ASA S12.60-2010/PART 1**: Acoustical Performance criteria, Design Requirements, and guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools. Acoustic Society of America, 2010.

ANSAY, S.; ZANNIN, P. H. T. Using the Parameters of Definition, D50, and Reverberation Time, RT, to Investigate the Acoustic Quality of Classrooms. **Canadian Acoustics**, v. 44, n. 4, p. 6-11, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10152: Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 1987.

AUGUSTYŃSKA, D. et al. Assessment of teachers' exposure to noise in selected primary schools. **Archives of Acoustics**, v. 35, n. 4, p. 521-542, 2010.

CAMPBELL, C.; NILSSON, E.; SVENSSON, C. The same reverberation time in two identical rooms does not necessarily mean the same levels of speech clarity and sound levels when we look at impact of different ceiling and wall absorbers. **Energy Procedia**, v. 78, p. 1635-1640, 2015.

CHRISTENSEN, C. L. ODEON, **Room Acoustics Software version 11 manual**. URL: www.odeon.dk. 2013.

DEPARTMENT FOR EDUCATION (DFE), **BB93: Building Bulletin 93 - Acoustic design of schools: performance standards**. London. 2015.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) - DIN 18041.2004. Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen. [Acoustical quality in small to medium-sized rooms] Germany, Berlin, Beuth Verlag, 2004.

DO NASCIMENTO, E. O. et al. Noise prediction based on acoustic maps and vehicle fleet composition. **Applied Acoustics**, v. 174, p. 107803, 2021.

DO NASCIMENTO, E. O. et al. Mobile Learning and Computational Simulation Applied in Environmental Acoustics. **IEEE Latin America Transactions**, v. 16, n. 1, p. 265-271, 2018.

DONGRE, A. R. et al. Acoustical characteristics of classrooms of tropical climate. **Applied Acoustics**, v. 121, p. 46-55, 2017.

FERREIRA, A.M.C. **Avaliação do Conforto Acústico em salas de Aula: Estudo de Caso na Universidade Federal do Paraná**. 128f. Dissertação (mestrado) Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Curitiba-PR, 2006.

FINNISH STANDARDS ASSOCIATION (SFS), **SFS 5907: EN ACOUSTIC CLASSIFICATION OF SPACES IN BUILDINGS**. SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO. 2004.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **IEC 60268-16: Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index**. Switzerland, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 3382-2: Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters -- Part 2: Reverberation time in ordinary rooms**, Switzerland, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 9921: Ergonomics – Assessment of speech communication**. Switzerland, 2003.

MA, K. W.; MAK, C. M.; WONG, H. M. Development of a subjective scale for sound quality assessments in building acoustics. **Journal of Building Engineering**, v. 29, p. 101177, 2020.

RANTALA, L. M.; SALA, E. Effects of Classroom Acoustics on Teachers' Voices. **Building Acoustics**, v. 22, n. 3-4, p. 243-258, 2015.

SECCHI, S. et al. Effect of outdoor noise and façade sound insulation on indoor acoustic environment of Italian schools. **Applied Acoustics**, v. 126, p. 120-130, 2017.

YANG, Da; MAK, Cheuk Ming. Effects of acoustical descriptors on speech intelligibility in Hong Kong classrooms. **Applied Acoustics**, v. 171, p. 107678, 2021.

ZANNIN, P. H. T; FERREIRA, A.; DE SANT'ANA, D. Comparação do tempo de reverberação e índice de transmissão da fala (STI) em salas de aula construídas em décadas diferentes. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 3, p. 125-139, 2009.

ZHU, P. et al. Experimental comparison of speech transmission index measurement in natural sound rooms and auditoria. **Applied Acoustics**, v. 165, p. 107326, 2020.