ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Avaliação do condicionamento acústico de salas de aula da Universidade Federal de Santa Catarina

Evaluation of the acoustic conditioning of classrooms at the Federal University of Santa Catarina

Carolina Zandavalli

Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | carolinazandavalli@gmail.com

Fernando Simon Westphal

Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | fernando.sw@ufsc.br

Resumo

Nas salas de aula, onde a qualidade do ambiente de aprendizado influencia nos resultados educacionais, as dimensões e sua geometria estão diretamente ligadas à acústica. Este trabalho faz parte de um estudo sobre o desempenho acústico nas salas de aula da Universidade Federal de Santa Catarina, apresentando nessa etapa, a avaliação acústica através do cálculo do tempo de reverberação, com base na ABNT NBR 12179, DIN 18041 e simulação computacional com o software I-SIMPA. Foram selecionadas salas representativas, utilizando como critério estatístico a capacidade de alunos comportada. Os resultados calculados e simulados demonstram que nenhuma das salas alcançam valores de tempo de reverberação satisfatórios.

Palavras-chave: Acústica de salas. Tempo de reverberação. I-SIMPA. Sala de aula.

Abstract

In classrooms, where the quality of the learning environment influences educational outcomes, the dimensions and its geometry are directly linked to acoustics. This work is part of a study on acoustic performance in classrooms at the Federal University of Santa Catarina, Brazil, presenting at this stage the acoustic evaluation through the calculation of reverberation time, based on ABNT NBR 12179, DIN 18041 and computer simulation with the software I -SIMPA. Representative rooms were selected, using the student capacity as a statistical criterion. The calculated and simulated results demonstrate that none of the rooms reach satisfactory reverberation time values.

Como citar:

ZANDAVALLI, C.; WESTPHAL, F. S. Avaliação do condicionamento acústico de salas de aula da Universidade Federal de Santa Catarina. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Keywords: Room acoustics. Reverberation Time. I-SIMPA. Classroom.

INTRODUÇÃO

A exposição excessiva ao ruído é um fenômeno presente em muitas salas de aula e pode ocasionar danos significativos no que diz respeito a qualidade do espaço, desempenho acadêmico e saúde da voz de alunos e professores [1].

Muitos estudos sobre exposição ao ruído em salas de aula buscam avaliar seus impactos diretos no desempenho das atividades de alunos e professores, assim como na saúde vocal e auditiva. Um estudo experimental com 35 professores em escolas da Dinamarca concluiu que o ruído numa sala de aula genérica não apresentava risco de perda auditiva. Porém, o estudo identificou evidências de sobrecarga vocal e fadiga cognitiva após o trabalho, enfatizando que uma condição acústica satisfatória deve ser pré-requisito para o ensino na sala de aula, pois suas atividades não devem ser prejudicadas por isso [2].

Outro entendimento importante é sobre a identificação das fontes ruidosas que interferem no âmbito da sala de aula. Essas fontes na maior parte das vezes são originadas no interior da sala, provocadas pelos próprios alunos durante a aula, demandando aumento da intensidade vocal dos professores [3]. Esse é o efeito de reações físicas como o efeito Lombard, tendência involuntária dos falantes de aumentar seu esforço vocal ao falar para melhorar a audibilidade de sua voz [4].

Com base nesses fatos, o controle do ruído se torna necessário e pode ser feito com o auxílio de materiais de absorção [5]. Para tanto, observa-se a geometria da sala, esquadrias e sistemas de vedação, pois esses interferem diretamente no comportamento sonoro e são fatores que podem definir o tipo de tratamento acústico ou isolamento necessário, de acordo com o uso do ambiente [6].

Para contribuir com a investigação e o incentivo de práticas corretas de conforto acústico, esse trabalho tem como objetivo a análise preliminar de salas de aula de atividade expositiva, buscando avaliar a partir de uma amostra de salas representativas da universidade, o desempenho acústico através do cálculo do tempo de reverberação e simulações computacionais.

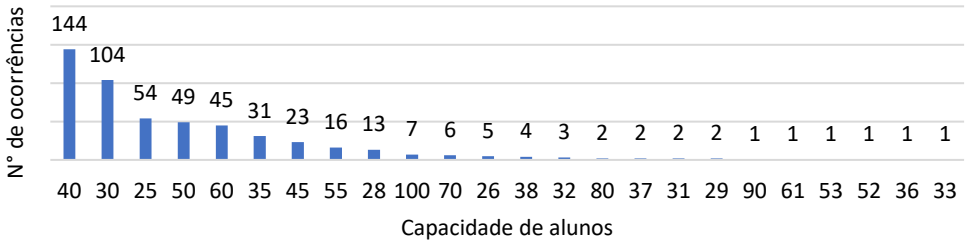
METODOLOGIA

A partir dos objetivos da pesquisa, foi feito o levantamento de salas que pudessem representar o contexto das salas de aula da Universidade Federal de Santa Catarina, campus de Florianópolis. Para isso, foi utilizado o critério da frequência de ocorrência, número de vezes que a amostra foi observada [7], estabelecendo como parâmetro a capacidade de alunos.

A seleção de amostras foi feita a partir do "Sistema Integrado de Espaço Físico" (SIEF) da UFSC [8], identificando o quantitativo de salas de aula cadastradas, considerando como primeiro recorte para limitação dessa pesquisa, apenas as salas ativas do Campus da cidade de Florianópolis.

Foram buscadas apenas as amostras que tratassem de salas de aula expositiva com carteiras escolares, com capacidade mínima de 25 alunos, obtendo o total de 537 registros de salas de aula ativas no sistema, excluindo amostras que não se encaixavam no escopo da pesquisa (Gráfico 1).

Gráfico 1. Ocorrências das salas de aula



Fonte: Os autores. Adaptado de SIEF UFSC [8].

As salas com maior número de ocorrências possuem capacidade para 40, 30, 25, 50, 60 e 35 alunos. A partir da análise do histograma, Gráfico 1, foi possível selecionar, a esmo, exemplares que representassem salas de aula típicas do local de estudo [7]. A tabela 1 mostra a relação de exemplares de amostra selecionados de acordo com a capacidade de alunos.

Tabela 1: Exemplares de salas de aula

Sala	Capacidade	Local	Dimensões (LxCxH)	Volume (m^3)
EEL010	40	Centro Tecnológico	7,12x7,11x2,99	151,36
CSE111	30	Centro Socioeconômico	7,14x5,99x3,29	140,70
CSE106	25	Centro Socioeconômico	7,14x4,75x3,29	111,58
CCJ003	50	Centro de Ciências Jurídicas	5,93x8,20x3,13	152,19
CTC204	60	Centro Tecnológico	7,06x10,69x3,31	249,81
CFH334	35	Centro de Filosofia e Ciências Humanas	7,15x7,09x3,15	159,68

Fonte: Os autores.

Para uma análise mais representativa das amostras, foram levantados exemplares em centros de diferentes cursos, limitando-se a permissão de acesso e tipo de uso da sala. A figura 1 traz a localização dos exemplares dentro da extensão do campus universitário.

Figura 1. Mapa com a localização das salas de aula (adaptado de Google Earth)



Fonte: Os autores. Adaptado de Google Earth.

CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS DAS SALAS

As salas selecionadas divergem em dimensões e materiais construtivos. Todas as salas possuem paredes em alvenaria com diferenças de acabamento, algumas com blocos cerâmicos aparentes pintados, outras com paredes rebocadas com pintura acrílica. As salas com menor capacidade de alunos possuem paredes do tipo divisórias de Eucatex, sem tratamento, permitindo modulação mais flexível. Essas salas possuem outras variações como piso, sistema de abertura de portas e janelas, teto, tipo de carteiras escolares e material das lousas, como mostra a figura 2.

Figura 2. Salas de aula na sequência: esquerda acima sala EEL010; a esquerda ao centro CSE111; a direita acima CSE106; A esquerda abaixo CCJ003; a esquerda ao centro CTC204 e a direita abaixo CFH334.


Fonte: Acervo pessoal.

A sala CTC204, por estar situada no pavimento térreo, próximo a uma via movimentada, recebeu em uma última reforma a instalação de janelas de correr sobrepondo as janelas maxim-ar originais. A sala também possui três portas, uma na parede da lousa, mantida

fechada, e outras duas, de acesso principal, no início e final da extensão da sala. O quadro 1 mostra a relação de materiais construtivos dos exemplares de salas de aula analisados.

Quadro 1. Materiais construtivos das salas de aula

SALAS	PAREDES	PISO	TETO	CORTINA	JANELA	CARTEIRA	LOUSA	PORTA
EEL010	Alvenaria tinta acrílica	Cerâmico Tablado em concreto	Laje rebocada	Tecido	Maxin-air Vidro comum	Madeira e cadeira de madeira	Madeira	Madeira
CSE111	Alvenaria com blocos aparentes pintados Divisória	Cimento	Laje e vigas aparentes	Tecido	Maxin-air vidro comum	Estofada com prancheta	Vidro	Correr 1 folha, madeira
CSE106	Alvenaria com blocos aparentes pintados Divisória	Cimento	Laje e vigas aparentes	Tecido	Vidro comum maxin air	Estofada com prancheta	Vidro	Correr 1 folha, madeira
CCJ003	Alvenaria tinta acrílica	Cerâmico	Laje rebocada	Não tem	Maxin air Vidro comum	Estofada com prancheta	Vidro	Madeira
CTC204	Alvenaria com blocos aparentes pintados	Cimento	Laje e vigas aparentes	Tecido	Dupla, maxin-air e de correr	Fórmica e cadeira de madeira	Madeira	Madeira
CFH334	Alvenaria com blocos aparentes pintados	Vinílico	Laje rebocada	Tecido	De correr vidro comum	Fórmica e cadeira de madeira	Vidro com madeira atrás	Madeira

Fonte: Os autores (2024).

CÁLCULO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O cálculo do tempo de reverberação (TR) é um parâmetro que por si só, já permite análises preliminares do conforto acústico. Para ambientes menores e retangulares como salas de aula, a equação de Sabine, Equação (1), permite chegar ao tempo de reverberação analisando a energia absorvida no volume do ambiente, as áreas das superfícies absorvedoras e os respectivos coeficientes de absorção específicos [9].

$$\mathbf{TR} = \frac{\mathbf{0{,}16V}}{\sum \mathbf{S} \propto} \quad (1)$$

Em que: TR é igual ao tempo de reverberação, 0,16 é a constante de Sabine, V é o volume do ambiente em m³, S é a área de cada superfície do ambiente em m² e $\propto$ é o coeficiente de absorção da superfície.

No Brasil, a norma de orientação sobre tratamento acústico em recintos fechados é a ABNT NBR 12179:1992 [10]. De acordo com a norma, o tempo ótimo de reverberação, ou seja, o tempo de reverberação considerado ideal para uma determinada atividade em um determinado recinto, em salas com volume inferior a 300m³, é de até 0,6 segundos. Esse valor utiliza como referência a frequência de 500 Hz, pois corresponde

à faixa predominante da fala. Essa condição aplica-se para salas de conferências, visto que a norma brasileira não indica valores para atividade exclusiva de sala de aula.

Logo, para complementar os indicativos da norma ABNT NBR 12179:1992 [10], também foi analisada a normativa alemã DIN 18041:2016 [11] e a normativa italiana UNI 11532-2: 2020 [12], que indicam valores específicos para atividade de discurso em salas de aula e complementam os cálculos de avaliação de TR, tabela 2.

Tabela 2. Tempo ótimo de reverberação para palavra-favada

	TR (s)	Volume	Referência
NBR 12179	0,4 a 0,6	120 - 300m³	500 Hz, recinto ocupado
DIN 18041 e UNI 11532-2	0,44 a 0,66	100 – 300m³	Tolerância de 80% a 120% em 500Hz, 80% ocupação

Fonte: Adaptado de ABNT, 1992 [8], DIN, 2016 [9] e UNI, 2020 [10].

A DIN 18041 [11] estabelece a Equação (2) para análise do TR para ambientes classificados como "A3 – Educação/Comunicação (até 1000m³)":

$$\mathbf{T_{ott,A3}} = (0.32\log V - 0.17) \quad (2)$$

Em que: T_{ott} é o tempo ótimo de reverberação para salas com 80% de ocupação.

Para encontrar o valor de correspondência de TR para salas desocupadas, a UNI 11532-2 [12] estabelece a Equação (3):

$$\mathbf{T_{opt,unocc}} = \frac{Topt,occ}{1+\frac{\mathrm{Topt,occ}\ \Delta A\ \mathrm{pers}}{0{,}16\ V}} \quad (3)$$

Em que: $T_{opt,unocc}$ se refere ao TR ótimo para o caso de salas desocupadas e $\Delta A\ \mathrm{pers}$ é a taxa de absorção das pessoas em m².

O valor de $\Delta A\ \mathrm{pers}$ utilizado foi de 2,34 per/m², referência de Martellotta et al. (2021) [13], estabelecendo como total ocupado 80% da capacidade de alunos.

Para calcular a área de absorção dos materiais das salas foram utilizados valores de coeficientes de absorção dos materiais tabelados por banda de oitava, disponíveis na literatura [14-15], descritos na Tabela 3.

Tabela 1. Coeficientes de absorção dos materiais

	Coeficiente de absorção por banda de oitava					
Material	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
Reboco liso, alvenaria de tijolos ou blocos	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Alvenaria de tijolos aparentes pintados	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Divisória de gesso tipo drywall	0,10	0,08	0,05	0,03	0,03	0,03
Piso de mármore, cerâmico ou granito polido	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Piso vinílico	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Concreto ou cimentado liso desempenado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Cortina tecido médio	0,05	0,15	0,35	0,55	0,65	0,65
Porta de madeira, pintada ou envernizada	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10
Vidro comum montado em caixilho	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Lousa de vidro comum	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02

Lousa de madeira	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Carteira escolar simples, vazia	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Carteira escolar estofada (*)	0,10	0,13	0,14	0,17	0,18	0,15
Carteira escolar simples, ocupada	0,18	0,24	0,28	0,33	0,37	0,39
Carteira escolar estofada, ocupada (*)	0,20	0,28	0,31	0,37	0,41	0,42

Fonte: Adaptado de Bistafa (2011) [14] (*) Barron (2003) [15].

Para representar a difusão das superfícies, ou coeficiente de espalhamento, foram utilizados os valores de Burfoot et al. (2020) [16] e Pilch (2023) [17]. Os autores explicam que muitos materiais possuem comportamentos semelhantes, atribuindo mesmo coeficiente de espalhamento. O coeficiente de espalhamento é o limite entre a energia difusa refletida e a energia refletida total (Long, 2012) [18].

Tabela 4. Coeficientes de espalhamento dos materiais

	Coeficiente de espalhamento por banda de oitava					
Material	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
Paredes, pisos e teto	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
Cortinas	0,06	0,07	0,10	0,15	0,15	0,20
Portas de madeira (*)	0,10	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20
Janelas	0,10	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
Lousas	0,10	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
Carteira escolar, vazia (*)	0,10	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20
Carteira escolar, ocupada	0,62	0,72	0,80	0,80	0,85	0,85

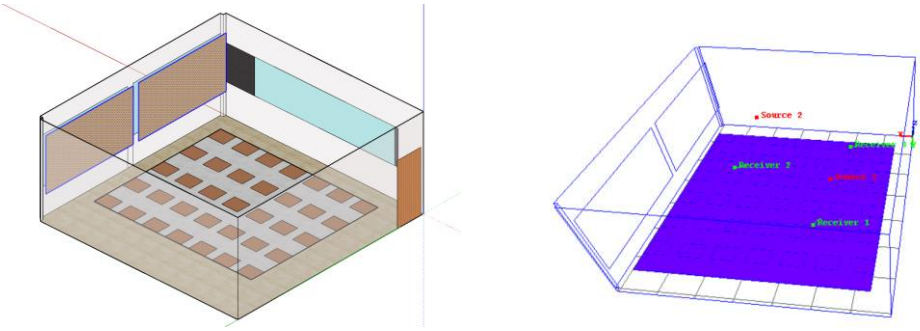
Fonte: Adaptado de Burfoot et al. (2020) [16] e (*) Pilch (2023) [17].

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A partir da seleção dos exemplares de amostras e respectivas características de materiais e sistemas construtivos, foi feito o cálculo do tempo de reverberação aplicando a equação de Sabine e simulações com o software I-SIMPA, utilizando os mesmos valores de superfície de absorção.

A primeira etapa da simulação consistiu na modelagem 3d das seis salas selecionadas com auxilio do software Sketchup, para exportação no I-SIMPA. Para melhores resultados, recomenda-se que a modelagem seja simplificada [19], trazendo os elementos apenas como superfícies planas. As carteiras foram representadas de forma planificada [20], figura 3.

Figura 3. Modelo 3d de uma das salas de aula simuladas. À esquerda, modelagem no software Sketchup e à direita, o modelo no software I-SIMPA.



Fonte: Os autores.

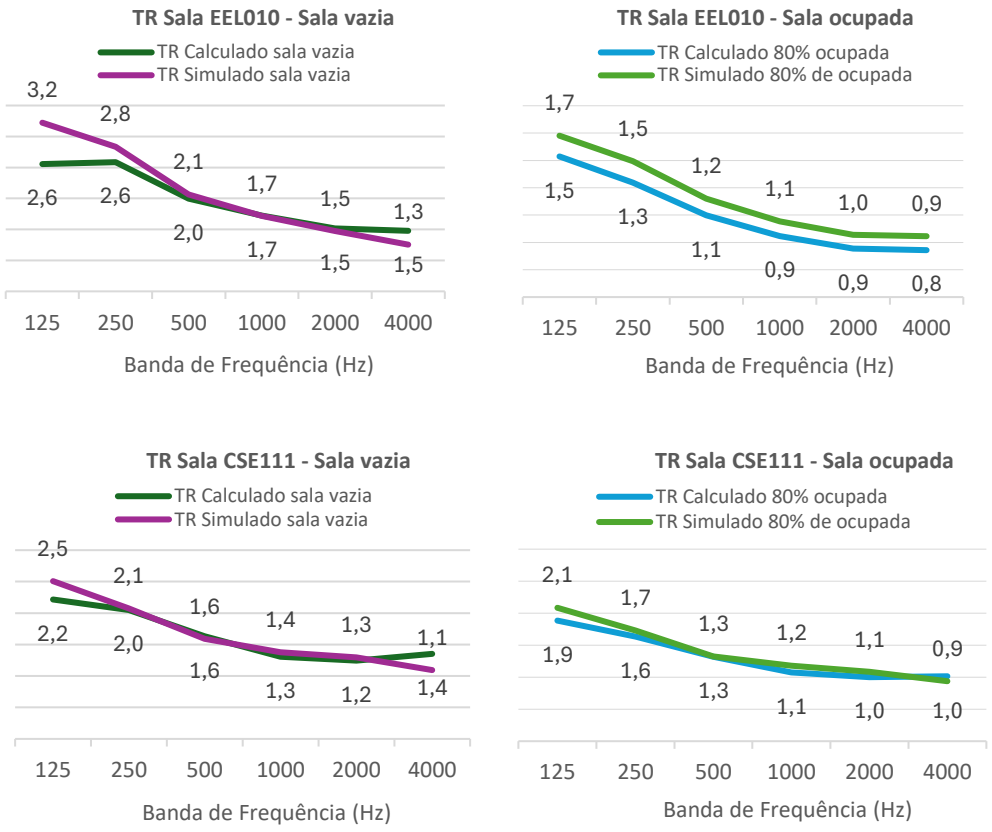
Foram posicionadas duas fontes sonoras omnidirecionais e três pontos de receptores (microfones), distribuídos nos espaços das salas, a 1,50 m e 1,20m de altura respectivamente, com base na norma NBR ISO 3382:2 [21]. As superfícies foram agrupadas com base no tipo de material e atribuídos os respectivos coeficientes de absorção e espalhamento, com base nas tabelas 3 e 4.

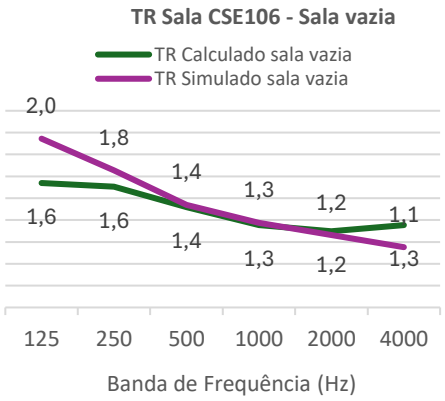
Os valores de tempo de reverberação calculados através da equação de Sabine foram comparados com os valores obtidos através dos resultados simulados no I-SIMPA com a metodologia "SPPS", sigla para "simulação da propagação de partículas sonoras", que utiliza a metodologia de traçado de partículas, baseando-se na energia equivalente a geometria do modelo importado [22].

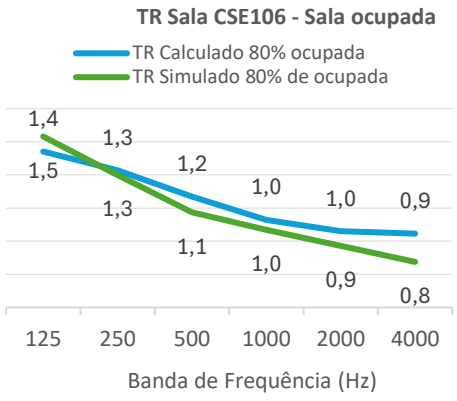
RESULTADOS E DISCUSSÕES

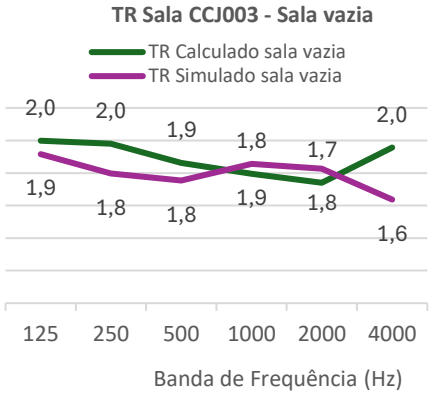
Os resultados do tempo de reverberação calculado a partir da equação de Sabine foram comparados com os resultados simulados. Os valores de TR simulado correspondem ao parâmetro T20, preferido como avaliação para medições em simulações computacionais de acordo com a DIN 18041:2016 [9].

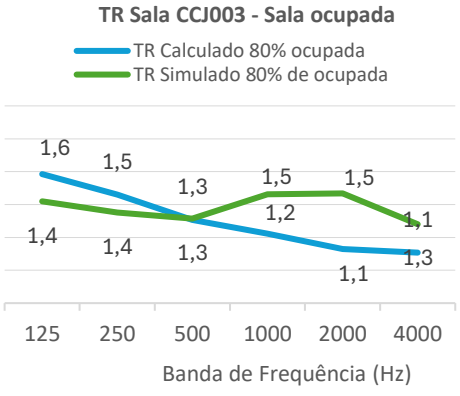
Gráfico 2. Resultados calculados vs. simulados do Tempo de Reverberação

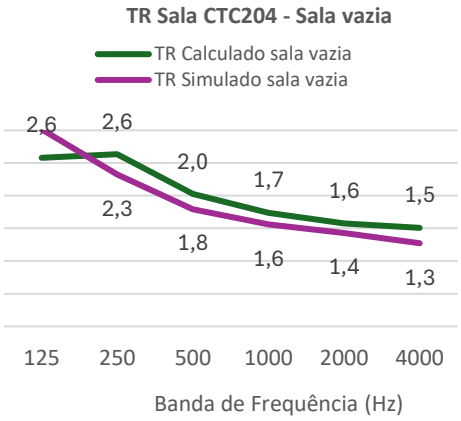


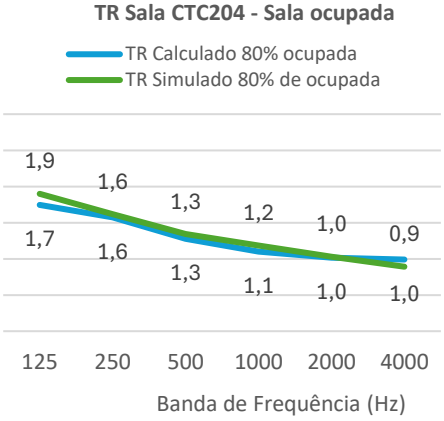


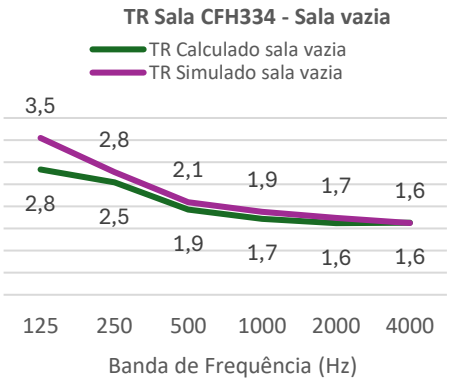


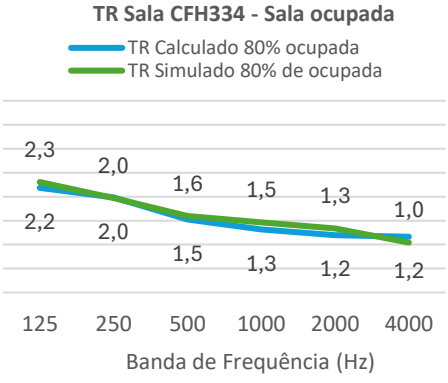












Fonte: Os autores.

RESULTADOS CALCULADOS E SIMULADOS

A partir dos gráficos, percebe-se que os valores simulados apresentam maior similariedade com os valores calculados nas médias frequências (500 Hz e 1000 Hz). Os resultados mais críticos aparecem nas baixas frequências (125 Hz e 250 Hz), demonstrando carência de absorção em todos os cenários. Ressalta-se que para os cálculos e simulação, móveis soltos diferentes das carteiras escolares, como mesas auxiliares e estantes foram desconsiderados.

Os valores simulados foram mais elevados em 4 das 6 salas analisadas, demonstrando maior impacto da geometria em relação aos resultados calculados que consideram apenas os valores de coeficiente de absorção das superfícies.

REFERÊNCIAS DE TEMPO ÓTIMO DE REVERBERAÇÃO

Para avaliação dos resultados de TR, as equações 2 e 3 foram aplicadas no exemplo de cada sala, com e sem ocupação, para atribuição do TR ótimo para a frequência de 500 Hz, tabela 4.

Tabela 4. Valores de TR Calculados e Simulados, referência 500Hz e respectivos valores de referência TR ideal para salas ocupadas ($T_{opt,A3}$) e salas desocupadas ($TR_{opt,unocc}$).

TR 500Hz	EEL010	CSE111	CSE106	CCJ03	CTC204	CFH334
$TR_{occ\ Calculado}$	1,1	1,3	1,2	1,2	1,3	1,5
$TR_{occ\ Simulado}$	1,2	1,3	1,1	1,5	1,3	1,6
$T_{opt,A3\ [10]}$	**0,5**	**0,5**	**0,5**	**0,5**	**0,6**	**0,5**
$TR_{unocc\ Calculado}$	2,0	1,6	1,4	1,9	2,0	1,9
$TR_{unocc\ Simulado}$	2,1	1,6	1,4	1,8	1,8	2,1
$T_{opt,unocc\ [10]}$	**0,8**	**0,7**	**0,6**	**0,8**	**0,8**	**0,7**

Fonte: Os autores. Nota: Valores de TR em segundos.

Observa-se diferenças de até 0,9 segundos entre os resultados de TR para salas ocupadas ($T_{occ,A3)}$, considerando 80% de ocupação, e salas desocupadas (TR_{unocc}), caracterizando a presença dos alunos como importante contribuição na absorção sonora.

Entre os exemplares analisados, a sala que mais se aproxima dos valores de referência é a CSE106, com o menor volume, com tempo de reverberação de 1,1 (simulado) e 1,2 (calculado) para 80% de ocupação, cerca de 0,6 segundos além do limite das normas técnicas.

Em complementação a Tabela 4, para relacionar a quantidade de superfície de absorção alcançada e verificar se essa é suficiente para suprir a demanda de amortecimento da sala, foram calculados os percentuais de cada uma das salas e quanto desse destina-se a absorção de carteiras e usuários, Tabela 5.

Tabela 5. Áreas de superfícies de absorção (m²) para 500 Hz, comparadas com área de absorção atual de cada sala e respectivos resultados necessários para atingir valores de TR ideais.

Área de Absorção		EEL010	CSE111	CSE106	CCJ03	CTC204	CFH334
Superfície de carteiras (sala vazia)	m²	0,96	3,36	2,80	5,60	1,44	0,84
	(%)	7%	26%	23%	43%	5%	6%
	m²	11,20	7,44	6,20	12,40	13,44	7,84

Superfície de usuários (sala ocupada)	(%)	51%	43%	40%	49%	43%	41%
Área de absorção atual sem ocupação (m²)		13,56	13,06	11,97	13,16	19,66	14,16
Área de absorção atual com ocupação(m²)		22,20	17,14	15,37	25,56	31,52	19,50
Área de absorção necessária para $T_{opt,unocc}$ [10]		30,84	32,77	30,31	31,01	50,90	37,18
Área de absorção necessária para $T_{opt,A3}$ [10]		49,34	45,87	36,38	49,62	67,87	48,20

Fonte: Os autores. Nota: Sala com ocupação de 80%.

Os dados da Tabela 5 mostram que todas as salas carecem de absorção para atingir valores aceitáveis de tempo ótimo de reverberação, tanto na situação de sala ocupada quanto desocupada. Utilizando como referência os valores calculados para tempo ótimo de reverberação da Tabela 4, seria necessário aumento superior a 50% da absorção atual, em quase todas as salas.

No caso da sala CSE106, percebe-se pouca diferença entre a quantidade de absorção necessária para atingir os valores de tempo ótimo de reverberação respectivos com a sala cheia e vazia. Já nos exemplos das salas CCJ003 e CTC204 essa diferença é um pouco mais expressiva.

Algumas relações também podem ser feitas acerca dos volumes das salas e ocupação. Por exemplo, a sala CFH334 é semelhante à EEL010, em dimensões e materiais e ambas possuem TR de 2,1 segundos quando consideradas sem ocupação. No entanto, a sala CFH334 possui 35 carteiras (28 carteiras na situação de 80% de ocupação simulada), em comparação com a sala EEE010 que possui 40 carteiras (32 carteiras na situação simulada de 80% de ocupação) e por isso registra TR inferior quando simulada com ocupação.

CONCLUSÕES

A avaliação demonstra que as salas de maior frequência de ocorrência da UFSC não possuem condicionamento acústico satisfatório compatível com normas técnicas nacionais e internacionais, reforçando a necessidade de intervenções que possam rever os materiais escolhidos para obter maior absorção. Enfatiza-se que sistemas construtivos como alvenaria e concreto necessitam de tratamento interno e negligenciar essas propriedades físicas, visando apenas um maior aproveitamento do espaço não contribui para o desempenho escolar dos alunos.

REFERÊNCIAS

[1] PINHO, P. G. et al. Aspects concerning the acoustical performance of school buildings in Portugal. **Applied Acoustics**, v. 106, p. 129-134, maio. 2016.

[2] BURFOOT, M. et al. Passive variable acoustic technology for classroom reverberation time: a case study. **Smart and Sustainable Built Environment**, 23 nov. 2022.

[3] LEVANDOSKI, G; ZANNIN, P. H. T. Quality of Life and Acoustic Comfort in Educational Environments of Curitiba, Brazil. **Journal of Voice**, v. 36, n. 3, p. 436.e9-436.e16, 1 maio 2022.

[4] LUO, J.; HAGE, S. R.; MOSS, C. F. The Lombard Effect: From Acoustics to Neural Mechanisms. **Trends in Neurosciences**, v. 41, n. 12, p. 938–949, 1 dez. 2018.

[5] ZHOU, X. Predicting the reverberation time in rectangular rooms with non-uniform absorption distribution. **Applied Acoustics**, v. 171, p. 107539, 1 jan. 2021. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.01.002

[6] ZANNIN, P. H. T.; MARCON, C. R. Objective and subjective evaluation of the acoustic comfort in classrooms. **Applied Ergonomics**, v. 38, n. 5, p. 675–680, 1 set. 2007.

[7] COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, ed. 2. 2002.

[8] UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Sistema Integrado de Espaço Físico.** Disponível em; https://sief.sistemas.ufsc.br/. Acesso em 10 abril 2024.

[9] ARRANZ, Guillermo. **Estúdio y diseño de sistemas para el acondicionamiento acústico.** Tesis (Master). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2013. Disponível em: https://oa.upm.es/21536/1/TESIS_MASTER_GUILLERMO_JIMENEZ_ARRANZ.pdf. Acesso em 27 maio 2023.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179:** Tratamento Acústico em Recintos Fechados. Rio de Janeiro, 1992.

[11] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG – DIN. **DIN 18041:**Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung. Berlin, 2016.

[12] Ente Italiano di Normazione. UNI 11532-2. Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati – Metodi di progettazione e tecniche di valutazione – Parte 2: Settore scolastico. Technical Report. Ente Italiano di Normazione, 2020.

[13] Martellotta F, D'alba M and Della Crociata S. Laboratory measurement of sound absorption of occupied pews and standing audiences. **Appl Acoust** 2011; 72(6): 341–349.

[14] BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

[15] BARRON, R.F. **Industrial Noise Control and Acoustics**. New York: Marcel Dekker, Inc, 2003, p 269-270.

[16] BURFOOT, M. et al. Developing virtual classroom environments for intelligent acoustic simulations. Anais... Em: The 54th International Conference of the Architectural Science Association (ANZAScA) 2020.

[17] PILCH, A. Sensitivity testing in room acoustic modeling on changes of input parameters on the example of selected concert halls. Proceedings of the 10th Convention of the European Acoustics Association Forum Acusticum 2023. Anais... Em: 10TH CONVENTION OF THE EUROPEAN ACOUSTICS ASSOCIATION FORUM ACUSTICUM 2023. Turin, Italy: European Acoustics Association, 17 jan. 2024. Disponível em: https://dael.euracoustics.org/confs/landing_pages/fa2023/000955.html>. Acesso em: 14 maio 2024.

[18] LONG, M. **Architectural acoustics**. Cambridge, MA: Elsevier Academic Press, 2014.

[19] PICAUT, J; FORTIN, N. I-Simpa, a Graphical User Interface Devoted to Host 3D Sound Propagation Numerical Codes. **In:** Acoustics 2012 Nantes, édité par Société Française d' Acoustique. Nantes, France. Disponível em: http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00810893. Acesso em 10 abril 2024.

[20] SCOCZYNSKI RIBEIRO, R. et al. Assessing acoustical quality in university classrooms in Brazil: Measurements and simulations. **Building Acoustics**, p. 1351010X231218410, 11 jan. 2024.

[21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 3382**: Acústica — Medição de parâmetros de acústica de salas - Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns. Rio de Janeiro, 2021. 384 p.

[22] GAUDEOSO, C; BARBO, M; BRANDÃO, E. Tutorial para o Uso do Software Gratuito de Simulação em Acústica Geométrica: I-Simpa. **In:** XXVIII ENCONTRO DA SOBRAC, 2018, Porto Alegre. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2018. Disponível em: https://proceedings.science/sobrac/trabalhos/tutorial-para-o-usodo-software-gratuito-de-simulacao-em-acustica-geometrica-i-s?lang=pt-br. Acesso em: 20 fev. 2024.