

Análise do condicionamento acústico em salas de aula do *Campus* Palmas, do IFTO¹

Felipe Araújo Cavalcante ⁽²⁾ e
Liliane Flávia Guimarães da Silva ⁽³⁾

Data de submissão: 20/6/2019. Data de aprovação: 16/10/2019.

Resumo – As escolas e universidades se configuram como locais em que as pessoas passam boa parte do dia e as atividades que lá são desenvolvidas, geralmente, requerem voz falada. Estes dois fatores determinam a necessidade de uma adequação acústica, de forma que a saúde seja preservada e que a execução das atividades seja realizada de maneira satisfatória. O objetivo deste artigo foi analisar o condicionamento acústico das salas de aula do *Campus* Palmas, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, de forma a defini-las como adequadas ou não para as atividades docentes (voz falada) e com base nisso propor uma intervenção corretiva quando necessária. Para alcançar tal objetivo, foram calculados os tempos de reverberação para cada padrão de sala, conforme normatização brasileira. Os tempos de reverberação ideais, recomendados pela literatura especializada, foram os parâmetros qualitativos a serem atingidos e os valores calculados foram comparados com estes. Os resultados obtidos apresentaram, em muitos casos, valores superiores a 2s. Estes tempos se distanciaram muito dos ideais, explicitando uma inadequação. Foram propostas intervenções com base na inserção de materiais absorventes nas superfícies, obtendo-se assim uma melhora considerável no condicionamento acústico das salas. Os tempos de reverberação obtidos após as intervenções foram satisfatórios, uma vez que se aproximaram do que se considerou ideal (1,05s e 0,7s). Ao final do estudo, pôde-se perceber que a acústica nas edificações é um parâmetro qualitativo que é por vezes negligenciado e que trabalhos como este servem para detectar estas negligências e propor soluções eficazes.

Palavras-chave: Condicionamento acústico. Conforto acústico. Inteligibilidade da fala. Salas de aula. Tempo de reverberação.

Analysis of the acoustic conditioning in classrooms of *Campus* Palmas, of IFTO

Abstract – Schools and universities are places where people spend great part of their day, and the activities carried out in those sites often require spoken voice. These two factors determine the need of an acoustic suitability, so that health can be protected and the activities can be performed in a satisfactory way. The objective of this article was to analyze the acoustic conditioning of the classrooms of *Campus* Palmas, of Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, in order to define as appropriate or not for teaching activities (spoken voice) and based on this, propose a corrective intervention when necessary. To achieve this goal, the reverberation times for each room pattern were calculated, according to Brazilian norms. The ideal reverberation times, recommended by the specialized literature, were the qualitative parameters to be reached and the calculated values were compared with these. The results obtained presented, in many cases, values higher than 2s. These times were very far from

¹ O artigo é parte dos estudos do Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil do autor, que se propôs a avaliar o conforto acústico em salas de aula no *Campus* Palmas, do IFTO.

² Bacharel em Engenharia Civil pelo *Campus* Palmas, do Instituto Federal do Tocantins - IFTO. *f.araujocavalcante@gmail.com

³ Doutora em Ciências do Ambiente pela Universidade Federal do Tocantins (UFT). Professora titular do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO. *lilianeg@ifto.edu.br

ideals, expressing an inadequacy. Interventions were proposed based on the insertion of absorbent materials on the surfaces, thus obtaining a considerable improvement in the acoustic conditioning of the rooms. The reverberation times obtained after the interventions were satisfactory as they approached what was considered ideal (1.05s and 0.7s). At the end of the study, it could be seen that acoustics in buildings is a qualitative parameter that is sometimes overlooked and that jobs like this serve to detect these neglects and propose effective solutions. **Keywords:** Acoustic conditioning. Acoustic comfort. Speech intelligibility. Classrooms. Reverberation time.

Introdução

A condição de vida das pessoas nos ambientes construídos pode ser considerada boa quando uma série de parâmetros qualitativos para as edificações são atendidos. Estes irão determinar se existe qualidade de vida nos ambientes, de forma que as pessoas não passem por situações incômodas devido à negligência de algum destes parâmetros. O conforto acústico é um parâmetro qualitativo importante, mas que, na maioria dos casos, é negligenciado. Esta atitude propicia o surgimento de problemas diversos, sejam relacionados à elevada exposição aos ruídos ou à inadequação acústica das salas para as atividades que nelas serão realizadas. Quando o ruído é muito intenso, o professor tende a aumentar a intensidade de sua emissão vocal, provocando, como consequência deste ato, o estresse vocal. Segundo Diniz Jr e Bernadete (2011), os problemas de saúde relacionados ao aparelho fonador do profissional da educação causam relevantes impactos sociais, econômicos, profissionais e pessoais. Além disto, Andrade (2009) afirma que o ruído afeta as capacidades intelectuais que são necessárias para o aprendizado.

Impedir a entrada de ruídos externos no interior de um ambiente significa isolá-lo acusticamente, de forma que este alcance os níveis de ruído recomendados e esteja em conformidade com as atividades que serão ali desenvolvidas (CARVALHO, 2006). Além do isolamento, um outro parâmetro importante no conforto acústico é o condicionamento acústico, que conforme a NBR 12179 (ABNT, 1992) consiste basicamente na garantia de um tempo ótimo de reverberação e, quando necessário, também uma adequada distribuição sonora para o ambiente.

A acústica nas edificações é um aspecto que normalmente não é pensado previamente nos projetos, o que acarreta uma série de medidas que acabam tendo que ser tomadas posteriormente às obras estarem concluídas. Ao invés de se projetar planejando o correto desempenho acústico, evitando assim os transtornos, a acústica só é lembrada quando os problemas surgem, o que faz com que os custos sejam maiores, bem como as soluções, mais difíceis.

Em ambientes escolares, o condicionamento acústico também será um dos fatores que irá garantir a qualidade auditiva no interior dos recintos, fazendo com que este seja indispensável na etapa de planejamento e projeto das obras. A ausência de um condicionamento acústico adequado poderá comprometer o processo de aprendizagem, uma vez que serão potencializados problemas relacionados à inteligibilidade da fala, ou seja, o que for dito no interior do ambiente pode não ser compreendido. Se o discente não consegue compreender com clareza o que é ministrado pelo docente, informações valiosas podem passar despercebidas, fragmentando assim o conteúdo explanado.

Partindo deste entendimento, o objetivo deste artigo é avaliar o comportamento acústico das salas de aula dos novos blocos (14 ao 17) do *Campus* Palmas, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, no que diz respeito ao condicionamento acústico, sugerindo, se necessária, uma proposta de intervenção visando adequar o ambiente. Todo o estudo foi baseado no trabalho de conclusão do curso de engenharia civil, que tem por título “Conforto acústico em salas de aula no *Campus* Palmas, do IFTO”, desenvolvido pelo autor deste artigo.

Materiais e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida ao longo de duas etapas: o levantamento e análise dos dados e, posteriormente, a discussão a respeito dos resultados obtidos, sendo estes comparados com os parâmetros considerados ideais pela literatura especializada. Ao final, propõe-se, se necessária, uma intervenção. Na etapa de levantamento e análise dos dados, foram realizados todos os cálculos necessários ao trabalho. Para subsidiar os cálculos, as salas de aula dos blocos (14 ao 17) do IFTO foram divididas em três padrões (Padrão 1, 2 e 3), sendo estes determinados pela capacidade de alunos. Portanto, as salas de padrão 1 são para 20 (vinte) pessoas, as salas de padrão 2 para 35 (trinta e cinco) pessoas e as salas de padrão 3 para 45 (quarenta e cinco) pessoas.

O parâmetro utilizado para a avaliação do condicionamento acústico das salas foi o tempo de reverberação, calculado com base na ABNT NBR 12179 (1992), por meio da equação de Sabine, demonstrada a seguir (Equação 1):

$$Tr = \frac{0,161 \cdot V}{S1\alpha1 + S2\alpha2} \quad (1)$$

Onde:

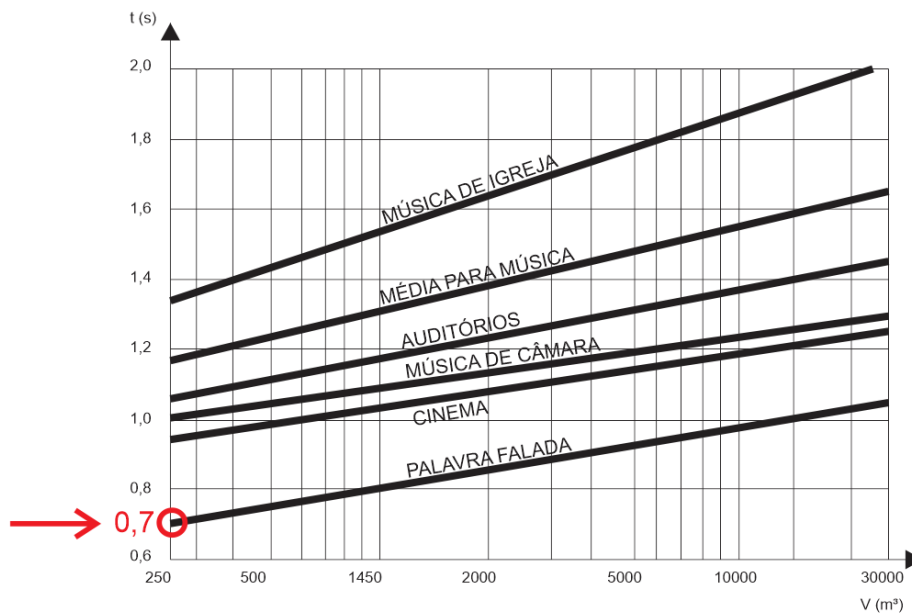
- Tr → tempo de reverberação (s);
- V → volume do recinto (m³);
- Sn → área da superfície (m²);
- αn → coeficiente de absorção.

Levando em conta que as principais atividades exercidas nas salas de aula utilizam-se da voz falada, para a realização dos cálculos, foram consideradas três frequências, 125Hz, 500Hz e 2000Hz, que conforme Santos *et al.* (1997, p. 189), são as frequências relacionadas à fala. Foi adotado um tempo de reverberação ótimo, ou ideal, de 0,7s para os três padrões de salas, conforme a metodologia proposta por De Marco (1982), que correlaciona o volume dos ambientes com a sua utilização (Figura 1).

O tempo de reverberação ideal foi corrigido para as frequências 125Hz, 500Hz e 2000Hz. Na correção do tempo ótimo de reverberação em função das frequências que foram estudadas, para os três padrões de sala, utilizou-se o gráfico da Figura 2, também extraído de De Marco (1982). Obtendo-se então, para a frequência de 125Hz um fator de correção de 1,5 e para as frequências de 500Hz e 2000Hz, fator de correção 1,0. Feita a correção para cada frequência, foram obtidos os tempos ótimos corrigidos de 1,05s para 125Hz, e 0,7s para 500Hz e 2000Hz.

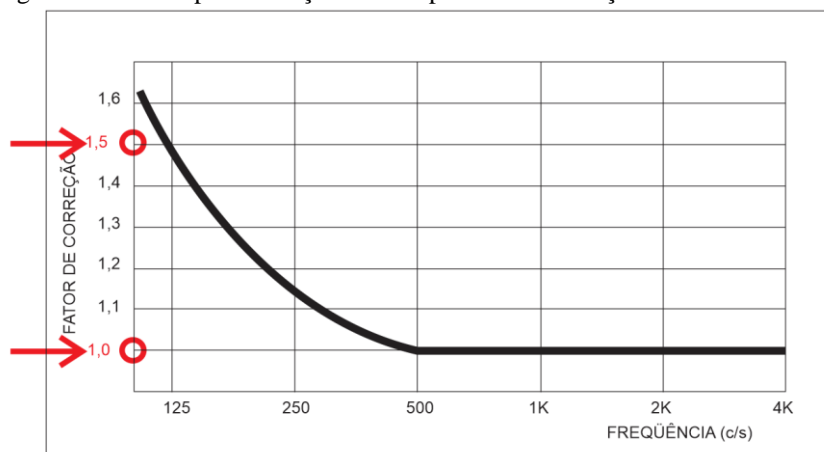
O tempo de reverberação foi calculado para cada padrão de sala, levando em conta as características construtivas das salas, seus materiais de superfície, a mobília etc. Duas hipóteses foram consideradas no estudo: salas cheias e salas vazias.

Figura 1 - Tempo ótimo de reverberação para os três padrões de sala.



Fonte: De Marco (1982).

Figura 2 - Gráfico para correção dos tempos de reverberação.



Fonte: De Marco (1982).

Para que o tempo de reverberação fosse calculado, fez-se necessário um levantamento das áreas das superfícies que seriam consideradas no cálculo. As áreas de piso, paredes, teto e janelas principais foram determinadas com o auxílio do projeto arquitetônico dos blocos. As áreas dos quadros, as janelas superiores às portas e as portas foram medidas manualmente com o auxílio de uma trena. Carteiras e pessoas foram contadas por unidade (considerando, além de alunos, um professor).

Encontradas as áreas das superfícies, foram determinados os coeficientes de absorção sonora de cada uma, de acordo com o material que a constituía. Entendendo que o cálculo do tempo de reverberação é uma simplificação do que ocorre na realidade, os coeficientes são fatores determinantes quando se objetiva realizar cálculos que se aproximem ao máximo da realidade. Partindo deste ponto, o ideal é que as fontes bibliográficas de extração desses coeficientes sejam confiáveis. As fontes de extração dos coeficientes de absorção utilizados no artigo estão expostas a seguir:

Quadro 1 - Fontes bibliográficas dos coeficientes de absorção utilizados.

Material	Fonte bibliográfica
Ar	De Marco (1982).
Piso em granitina	Banco de dados de características acústicas – FAUUSP (2003).
Alvenaria pintada	Parkin (1980) <i>apud</i> FAUUSP (2003).
Gesso acartonado	Campanella (2011).
Janelas	ABNT NBR 12179 (1992)
Reboco de gesso	De Marco (1982).
Madeira compensada	ABNT NBR 12179 (1992)
Feltro	ABNT NBR 12179 (1992)
Porta de madeira	ABNT NBR 12179 (1992)
Mesa	De Marco (1982).
Carteiras de plástico	Paixão, Gaida Viera e Brum (2012).
Pessoas (Sentadas)	Prado (1971) <i>apud</i> FAUUSP (2003).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cada tempo de reverberação calculado foi comparado com o tempo de reverberação ideal para ambientes destinados à fala, sendo estes os valores obtidos conforme De Marco (1982) expostos anteriormente. Segundo o autor, a diferença entre o tempo de reverberação com a sala cheia e com a sala vazia não deve exceder 0,2s (DE MARCO, 1982, p. 99). Para que os cálculos possam ser considerados aceitáveis, o referido autor recomenda uma diferença menor que 0,1s entre os tempos de reverberação ideal e o tempo de reverberação calculado, além de cuidar para não ocorrer exageros na absorção, o que também prejudica a inteligibilidade (DE MARCO, 1982, p. 102).

Para efeito de simplificação dos cálculos de área, foram desconsideradas as lajes internas que se encontram no interior das salas, abaixo das esquadrias. Foram desconsideradas também as vigas que atravessam as salas no sentido perpendicular às esquadrias, por conta destes elementos não aparecerem no mesmo ponto em todas as salas, o que provocaria uma não padronização.

Resultados e Discussões

Os cálculos dos tempos de reverberação (T_R) realizados estão demonstrados nas tabelas a seguir. Em amarelo estão os tempos de reverberação calculados e em cinza as diferenças que devem atender aos máximos recomendados por De Marco (1982).

Tabela 1 - Tempos de reverberação obtidos para as salas de padrão 1.

(Continua)

Material	Área (m ²) ou n°	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a_i	$a_i.S_i$	a_i	$a_i.S_i$	a_i	$a_i.S_i$	
Ar	151,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,51	
Piso em granitina	43,22	0,01	0,43	0,02	0,86	0,02	0,86	
Parede 1 em alvenaria pintada	14,69	0,05	0,73	0,02	0,29	0,05	0,73	
Parede 2 em alvenaria pintada	25,73	0,05	1,29	0,02	0,51	0,05	1,29	

Tabela 1 - Tempos de reverberação obtidos para as salas de padrão 1.

(Continuação e conclusão)

Parede 3 em alvenaria pintada	10,00	0,05	0,50	0,02	0,20	0,05	0,50	
Parede 4 em gesso acartonado	20,93	0,29	6,07	0,05	1,05	0,07	1,46	
Janelas superiores às portas (Parede 1)	4,00	0,00	0,00	0,03	0,12	0,00	0,00	
Janelas principais (Parede 3)	10,58	0,00	0,00	0,03	0,32	0,00	0,00	
Teto (Reboco de gesso)	41,90	0,02	0,84	0,02	0,84	0,04	1,68	
Quadro branco	3,70	0,25	0,92	0,18	0,67	0,10	0,37	
Quadro verde (Feltro)	1,10	0,09	0,10	0,18	0,20	0,55	0,61	
Porta de madeira	1,89	0,14	0,26	0,06	0,11	0,10	0,19	
Mesa	0,72	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,03	
Carteiras (Plástico)	21	0,098	2,06	0,216	4,54	0,157	3,30	
Pessoas	21	0,09	1,89	0,19	3,99	0,06	1,26	
Subtotal absorção sala cheia			15,11		13,71		13,78	
T_R calculado com sala cheia			1,61		1,78		1,77	
Subtotal absorção sala vazia			13,22		9,72		12,52	
T_R calculado com sala vazia			1,84		2,51		1,94	
Diferença T_R sala vazia – T_R cheia			0,23		0,73		0,18	Máximo 0,2s
Absorção ideal			23,19		34,79		34,79	
TR ideal			1,05		0,70		0,70	
Diferença TR ideal – TR sala cheia			-0,56		-1,08		-1,07	Máximo 0,1s
Diferença TR ideal – TR sala vazia			-0,79		-1,81		-1,24	Máximo 0,1s

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2 - Tempos de reverberação obtidos para as salas de padrão 2.

(Continua)

Material	Área (m ²) ou n ^o	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a_i	$a_i \cdot S_i$	a_i	$a_i \cdot S_i$	a_i	$a_i \cdot S_i$	
Ar	228,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	2,29	
Piso em granitina	65,42	0,01	0,65	0,02	1,31	0,02	1,31	
Parede 1 em alvenaria pintada	23,21	0,05	1,16	0,02	0,29	0,05	0,73	
Parede 2 em gesso acartonado	25,73	0,05	1,29	0,02	0,51	0,05	1,29	
Parede 3 em alvenaria pintada	15,13	0,05	0,76	0,02	0,20	0,05	0,50	
Parede 4 em gesso acartonado	20,93	0,29	6,07	0,05	1,05	0,07	1,46	
Janelas superiores às portas (Parede 1)	6,05	0,00	0,00	0,03	0,18	0,00	0,00	
Janelas principais (Parede 3)	16,02	0,00	0,00	0,03	0,48	0,00	0,00	

Tabela 2 - Tempos de reverberação obtidos para as salas de padrão 2.

(Continuação e conclusão)

Teto (Reboco de gesso)	64,68	0,02	1,29	0,02	1,29	0,04	2,59	
Quadro branco	3,70	0,25	0,92	0,18	0,67	0,10	0,37	
quadro verde (Feltro)	1,10	0,09	0,10	0,18	0,20	0,55	0,61	
Porta de madeira	1,89	0,14	0,26	0,06	0,11	0,10	0,19	
Mesa	0,72	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
Carteiras (Plástico)	36	0,098	3,53	0,22	7,78	0,157	5,65	
Pessoas	36	0,17	6,12	0,47	16,92	0,53	19,08	
Subtotal absorção sala cheia			19,28		20,91		19,16	
T _R calculado com sala cheia			1,91		1,76		1,92	
Subtotal absorção sala vazia			16,04		14,07		17,00	
T _R calculado com sala vazia			2,30		2,62		2,17	
Diferença T _R sala vazia – T _R cheia			0,39		0,86		0,24	Máximo 0,2s
Absorção ideal			35,11		52,66		52,66	
T _R ideal			1,05		0,70		0,70	
Diferença T _R ideal – T _R sala cheia			-0,86		-1,06		-1,22	Máximo 0,1s
Diferença T _R ideal – T _R sala vazia			-1,25		-1,92		-1,47	Máximo 0,1s

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Tempos de reverberação calculados para as salas de padrão 3.

(Continua)

Material	Área (m ²) ou n°	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
Ar	305,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,06	
Piso em granitina	87,32	0,01	0,87	0,02	1,75	0,02	1,75	
Parede 1 em alvenaria pintada	31,61	0,05	1,58	0,02	0,29	0,05	0,73	
Parede 2 em alvenaria pintada	25,73	0,05	1,29	0,02	0,51	0,05	1,29	
Parede 3 em alvenaria pintada	20,20	0,05	1,01	0,02	0,20	0,05	0,50	
Parede 4 em gesso acartonado	20,93	0,29	6,07	0,05	1,05	0,07	1,46	
Janelas superiores às portas (Parede 1)	8,08	0,00	0,00	0,03	0,24	0,00	0,00	
Janelas principais (Parede 3)	21,38	0,00	0,00	0,03	0,64	0,00	0,00	
Teto (Reboco de gesso)	87,32	0,02	1,75	0,02	1,75	0,04	3,49	
Quadro branco	3,70	0,25	0,92	0,18	0,67	0,10	0,37	
Quadro verde (Feltro)	1,10	0,09	0,10	0,18	0,20	0,55	0,61	
Porta de madeira	1,89	0,14	0,26	0,06	0,11	0,10	0,19	
Mesa	0,72	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
Carteiras (Plástico)	46	0,098	4,51	0,22	9,94	0,157	7,22	
Pessoas	46	0,09	4,14	0,19	8,74	0,06	2,76	

Tabela 3 - Tempos de reverberação obtidos para as salas de padrão 3.

(Continuação e conclusão)

Subtotal absorção sala cheia	22,51	26,09	23,44	
T _R calculado com sala cheia	2,19	1,89	2,10	
Subtotal absorção sala vazia	18,37	17,35	20,68	
T _R calculado com sala vazia	2,68	2,84	2,38	
Diferença T _R sala vazia – T _R cheia	0,49	0,95	0,28	Máximo 0,2s
Absorção ideal	46,86	70,29	70,29	
T _R ideal	1,05	0,70	0,70	
Diferença T _R ideal – T _R sala cheia	-1,14	-1,15	-1,28	Máximo 0,1s
Diferença T _R ideal – T _R sala vazia	-1,63	-2,05	-1,53	Máximo 0,1s

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando os valores obtidos nos cálculos demonstrados acima, pode-se perceber que os tempos de reverberação calculados para as salas, em nenhum dos padrões estabelecidos, atendeu àquilo que se considera ideal para atividades que se utilizam da voz falada. Em muitos casos, o tempo de reverberação calculado foi maior que o dobro do tempo de reverberação considerado ideal, o que expõe uma realidade de inadequação acústica.

Além dos tempos de reverberação calculados estarem bem maiores que os considerados ideais em todos os padrões de salas, as diferenças grifadas em cinza não estão dentro dos limites máximos indicados. Apenas para o padrão 1, na frequência de 2000Hz, o parâmetro “Diferença do tempo de reverberação da sala vazia - tempo de reverberação sala cheia” ficou dentro do aceitável.

Proposta de intervenção

Partindo deste cenário, conforme presente necessidade, foi sugerida uma proposta de intervenção, visando adequar as salas de aula acusticamente no que se refere às suas capacidades de absorção sonora.

A proposta consistiu basicamente na inserção de novos materiais nas superfícies das salas, aumentando conseqüentemente a absorção sonora do ambiente e melhorando assim o condicionamento acústico. Melhorar a absorção fará com que os tempos de reverberação reduzam de forma que se aproximem mais daquilo que se considera ideal para salas de aula.

Para que a confiabilidade dos cálculos fosse mantida, os coeficientes dos materiais a serem utilizados na proposta de intervenção tinham que manter a mesma origem em fontes confiáveis. Os materiais utilizados e as fontes dos coeficientes estão expostos no Quadro 2, abaixo:

Quadro 2 - Fontes bibliográficas dos coeficientes dos materiais utilizados na proposta.

Material	Fonte bibliográfica
Placa acústica Sonex illtec Plano	OWA Sonex Brasil (2019)
Forro Eucatex (12,7mm)	Banco de dados FAUUSP(2003)

Fonte: Elaborado pelo autor.

A proposta de intervenção consiste, em sua maior parte, na inserção de placas acústicas nas paredes das salas, com o objetivo de aumentar sua absorção, diminuindo conseqüentemente a reflexão e por conseqüência o tempo de reverberação.

Além das placas acústicas, foi sugerido um forro Eucatex, com 12,7mm de espessura, para ser instalado sobre o teto, com um espaçamento em relação a laje de aproximadamente 10 cm, exceto nas vigas, onde o Eucatex deverá estar diretamente em contato.

A seguir (tabelas 4 a 6) estão expressos os valores obtidos nos cálculos da proposta de intervenção. Em verde estão os novos materiais inseridos, em amarelo os tempos de reverberação calculados e em cinza os demais parâmetros a serem atingidos.

Tabela 4 - Valores obtidos para a proposta de intervenção nas salas de padrão 1.

Material	Área (m ²) ou n°	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
Ar	151,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,51	
Piso em granitina	43,22	0,01	0,43	0,02	0,86	0,02	0,86	
Parede 1 em alvenaria pintada	14,69	0,05	0,73	0,02	0,29	0,05	0,73	
Parede 2 em alvenaria pintada	6,75	0,05	0,34	0,02	0,13	0,05	0,34	
Parede 2 com placa acústica Sonex illtec Plano (25mm)	18,98	0,04	0,76	0,49	9,30	0,83	15,75	
Parede 3 em alvenaria pintada	6,48	0,05	0,32	0,02	0,13	0,05	0,32	
Parede 3 com placa acústica Sonex illtec Plano (25mm)	3,52	0,04	0,141	0,49	1,72	0,83	2,92	
Parede 4 em gesso acartonado	20,93	0,29	6,07	0,05	1,05	0,07	1,46	
Janelas superiores às portas (Parede 1)	4,00	0,00	0,00	0,03	0,12	0,00	0,00	
Janelas principais (Parede 3)	10,58	0,00	0,00	0,03	0,32	0,00	0,00	
Teto (Reboco de gesso)	3,42	0,02	0,07	0,02	0,07	0,04	0,14	
Forro Eucatex	38,48	0,3	11,54	0,25	9,62	0,18	6,93	
Quadro branco	3,70	0,25	0,92	0,18	0,67	0,1	0,37	
Quadro verde (Feltro)	1,10	0,09	0,10	0,18	0,20	0,55	0,61	
Porta de madeira	1,89	0,14	0,26	0,06	0,11	0,1	0,19	
Mesa	0,72	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,03	
Carteiras (Plástico)	21	0,098	2,06	0,22	4,54	0,157	3,30	
Pessoas	21	0,09	1,89	0,19	3,99	0,06	1,26	
Subtotal absorção sala cheia			25,66		33,13		36,72	
T _R calculado com sala cheia			0,95		0,73		0,66	
Subtotal absorção sala vazia			23,77		29,14		35,46	
T _R calculado com sala vazia			1,02		0,84		0,69	
Diferença T _R sala vazia – T _R cheia			0,08		0,10		0,02	Máximo 0,2s
Absorção ideal			23,19		34,79		34,79	
T _R ideal			1,05		0,70		0,70	
Diferença T _R ideal – T _R sala cheia			0,10		-0,03		0,04	Máximo 0,1s
Diferença T _R ideal – T _R sala vazia			0,03		-0,14		0,01	Máximo 0,1s

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 - Valores obtidos para a proposta de intervenção nas salas de padrão 2.

Material	Área (m ²) ou n°	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
Ar	228,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	2,29	
Piso em granitina	65,42	0,01	0,65	0,02	1,31	0,02	1,31	
Parede 1 em alvenaria pintada	10,32	0,05	0,52	0,02	0,21	0,05	0,52	
Parede 1 com placa acústica Sonex illtec Plano (25mm)	12,89	0,04	0,52	0,49	6,32	0,83	10,70	
Parede 2 em gesso acartonado	6,75	0,29	1,96	0,05	0,34	0,07	0,47	
Parede 2 com placa acústica Sonex illtec Plano (25mm)	18,98	0,04	0,76	0,49	9,30	0,83	15,75	
Parede 3 em alvenaria pintada	15,13	0,05	0,76	0,02	0,30	0,05	0,76	
Parede 4 em gesso acartonado	20,93	0,29	6,07	0,05	1,05	0,07	1,46	
Janelas superiores às portas (Parede 1)	6,05	0,00	0,00	0,03	0,18	0,00	0,00	
Janelas principais (Parede 3)	16,02	0,00	0,00	0,03	0,48	0,00	0,00	
Teto (Reboco de gesso)	8,19	0,02	0,16	0,02	0,16	0,04	0,33	
Forro Eucatex	63,84	0,30	19,15	0,25	15,96	0,18	11,49	
Quadro branco	3,70	0,25	0,92	0,18	0,67	0,10	0,37	
Quadro verde (Feltro)	1,10	0,09	0,10	0,18	0,20	0,55	0,61	
Porta de madeira	1,89	0,14	0,26	0,06	0,11	0,10	0,19	
Mesa	0,72	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
Carteiras (Plástico)	36	0,098	3,53	0,22	7,78	0,15 7	5,65	
Pessoas (Adulto sentado)	36	0,09	3,24	0,19	6,84	0,06	2,16	
Subtotal absorção sala cheia			38,60		51,20		54,07	
T _R calculado com sala cheia			0,95		0,72		0,68	
Subtotal absorção sala vazia			35,36		44,36		51,91	
T _R calculado com sala vazia			1,04		0,83		0,71	
Diferença T _R sala vazia – T _R cheia			0,09		0,11		0,03	Máximo 0,2s
Absorção ideal			35,11		52,66		52,66	
T _R ideal			1,05		0,70		0,70	
Diferença T _R ideal – T _R sala cheia			0,10		-0,02		0,02	Máximo 0,1s
Diferença T _R ideal – T _R sala vazia			0,01		-0,13		-0,01	Máximo 0,1s

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6 - Valores obtidos para a proposta de intervenção nas salas de padrão 3.

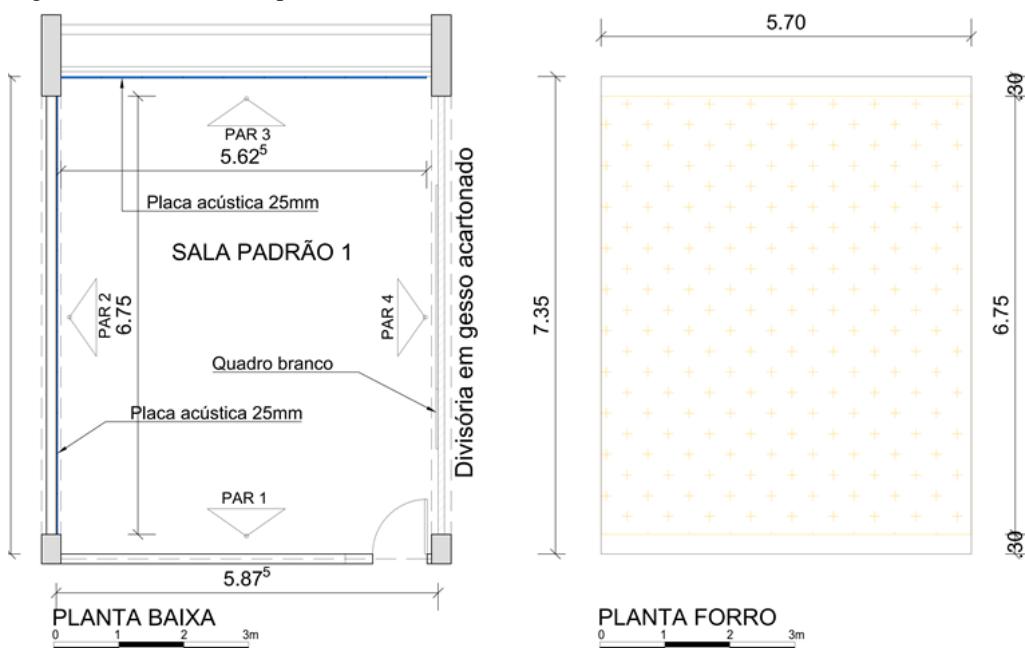
Material	Área (m ²) ou nº	Frequências (Hz)						Máximos recomendados
		125		500		2000		
		a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	a _i	a _i .S _i	
Ar	305,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,06	
Piso em granitina	87,32	0,01	0,87	0,02	1,75	0,02	1,75	
Parede 1 em alvenaria pintada	12,86	0,05	0,64	0,02	0,26	0,05	0,64	
Parede 1 com placa acústica Sonex illtec Plano (50mm)	18,75	0,19	3,56	0,99	18,56	0,99	18,56	
Parede 2 em alvenaria pintada	6,75	0,05	0,34	0,02	0,13	0,05	0,34	
Parede 2 com placa acústica Sonex illtec Plano (25mm)	18,98	0,04	0,76	0,49	9,30	0,83	15,75	
Parede 3 em alvenaria pintada	9,65	0,05	0,48	0,02	0,19	0,05	0,48	
Parede 3 com placa acústica Sonex illtec Plano (25mm)	10,54	0,06	0,63	0,49	5,17	0,86	9,07	
Parede 4 em gesso acartonado	20,93	0,29	6,07	0,05	1,05	0,07	1,46	
Janelas superiores às portas (Parede 1)	8,08	0,00	0,00	0,03	0,24	0,00	0,00	
Janelas principais (Parede 3)	21,38	0,00	0,00	0,03	0,64	0,00	0,00	
Forro Eucatex	91,88	0,30	27,56	0,25	22,97	0,18	16,54	
Quadro branco	3,70	0,25	0,92	0,18	0,67	0,10	0,37	
Quadro verde (Feltro)	1,10	0,09	0,10	0,18	0,20	0,55	0,61	
Porta de madeira	1,89	0,14	0,26	0,06	0,11	0,10	0,19	
Mesa	0,72	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	
Carteiras (Plástico)	46	0,098	4,51	0,216	9,94	0,157	7,22	
Pessoas (Adulto sentado)	46	0,09	4,14	0,19	8,74	0,06	2,76	
Subtotal absorção sala cheia			50,86		79,92		78,81	
T _R calculado com sala cheia			0,97		0,62		0,62	
Subtotal absorção sala vazia			46,72		71,18		76,05	
T _R calculado com sala vazia			1,05		0,69		0,65	
Diferença T _R sala vazia – T _R cheia			0,09		0,08		0,02	Máximo 0,2s
Absorção ideal			46,86		70,29		70,29	
T _R ideal			1,05		0,70		0,70	
Diferença T _R ideal – T _R sala cheia			0,08		0,08		0,08	Máximo 0,1s
Diferença T _R ideal – T _R sala vazia			0,00		0,01		0,05	Máximo 0,1s

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos cálculos apresentados nas tabelas anteriores, foi possível identificar uma grande mudança de cenário. É notória a diferença causada pela intervenção no ambiente, uma vez que a maioria dos parâmetros se encontram dentro daquilo que é considerado o ideal.

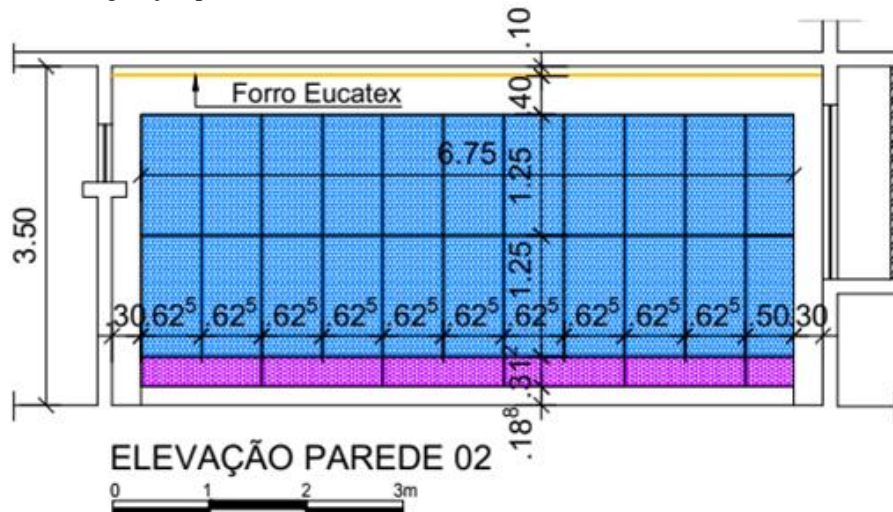
Na proposta nas salas de Padrão 1 (Figuras 3 a 5), foi simulada a inserção de 18,98m² de placa acústica com 25mm de espessura na Parede 2 e 3,52m² de placa acústica com 25mm de espessura na Parede 3. Além disto, foi simulado um forro coberto por Eucatex 12,7mm, obtendo-se assim uma área de 38,48m² de Eucatex e 3,42m² de gesso. Os resultados da simulação se mostraram bastante satisfatórios. Os tempos de reverberação das salas ficaram próximos do ideal em todas as frequências, principalmente nas frequências agudas. Os valores que mais se distanciaram do ideal foram os obtidos para a frequência de 500Hz. Além das melhorias citadas, a diferença entre os TRs das salas vazias e os TRs das salas cheias ficou dentro do limite ideal de 0,2s.

Figura 3 - Planta baixa e planta de forro - Salas Padrão 1.



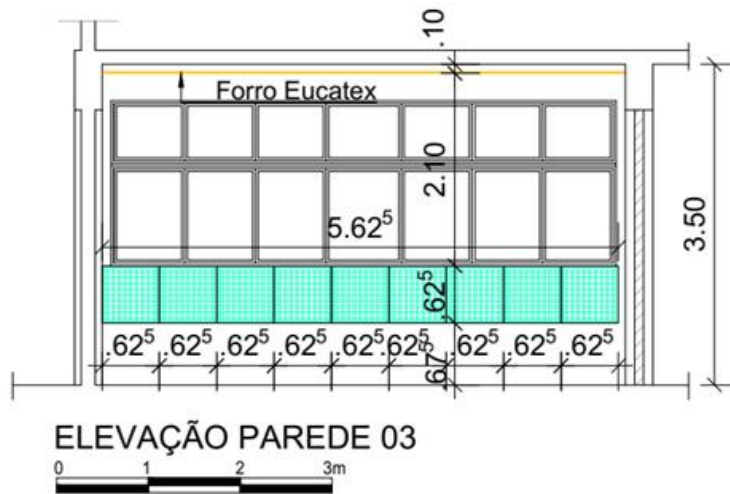
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4 - Paginação parede 02 - Salas Padrão 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 - Paginação parede 03 - Salas Padrão 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

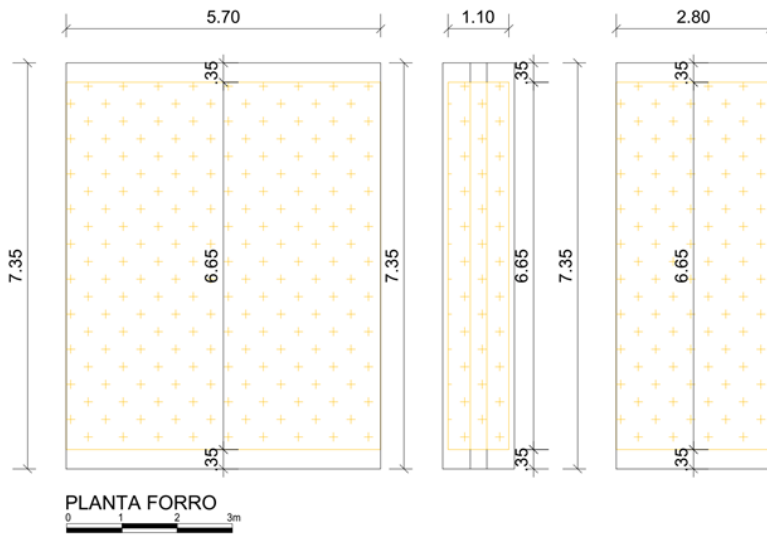
Para as salas de Padrão 2 (Figuras 6 a 9), foi proposta a inserção de 12,89m² de placa acústica com 25mm de espessura na Parede 1 e 18,98m² de placa acústica com 25mm de espessura na Parede 2. Foi sugerido também o forro coberto com Eucatex de 12,7mm, com área de 63,84m². De maneira análoga ao que aconteceu com a simulação das salas de Padrão 1, os resultados foram satisfatórios. A diferença entre os TRs das salas vazias e os TRs das salas cheias também ficou abaixo do máximo de 0,2s. É importante ressaltar que quanto maiores as dimensões do ambiente, maior é a dificuldade de adequação do mesmo quanto à reverberação. Nas salas de Padrão 2, para que as frequências baixas obtivessem valores que se aproximassem do ideal, foi necessário que as frequências médias se distanciassem um pouco deste, desta forma, o parâmetro “Subtotal absorção sala cheia” apresenta um valor mais alto (-0,13s). Ainda assim, se levada em consideração a dificuldade de adequação do ambiente para todas frequências, com os dados de coeficientes de materiais disponíveis, os resultados se tornam adequados, uma vez que 0,03s, na prática, não se configura como uma diferença claramente perceptível.

Figura 6 - Planta baixa - Salas de Padrão 2.



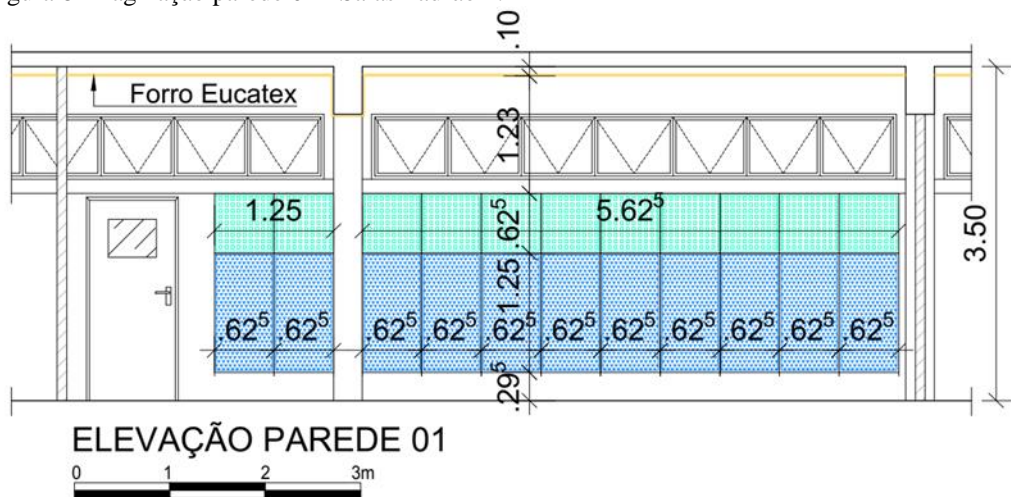
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 7 - Planta de forro - Salas Padrão 2.



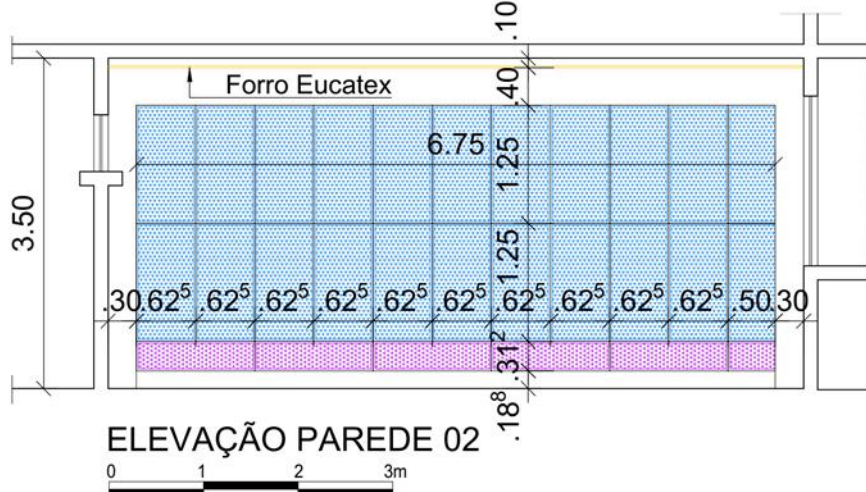
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - Paginação parede 01 - Salas Padrão 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 - Paginação parede 02 - Salas Padrão 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

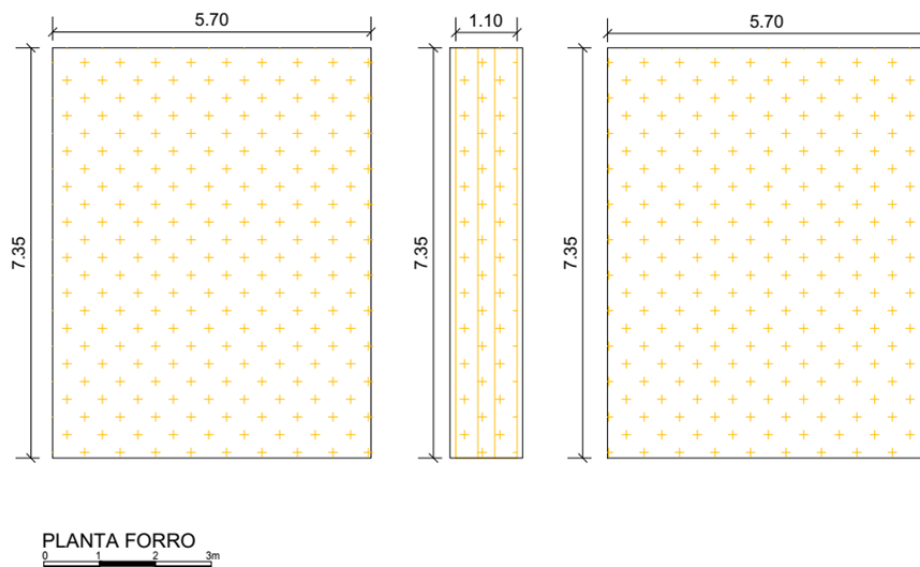
As salas de Padrão 3 são as maiores, conseqüentemente, as que apresentam maior dificuldade de adequação (Figuras 10 a 14). Para este padrão, foi sugerida a aplicação de 18,75m² de placa acústica com 50mm de espessura na Parede 1, 18,98m² de placa acústica de 25mm de espessura na Parede 2 e 10,54m² de placa acústica com espessura de 25mm na Parede 3. Nesta simulação, assim como nas outras, o forro Eucatex de 12,7mm de espessura foi sugerido, ocupando uma área de 91,88m². Este forro teve importância principalmente para as frequências baixas, uma vez que para este padrão de sala, a frequência de 125Hz foi a de maior dificuldade de adequação. O resultado obtido, assim como nas outras simulações, foi satisfatório, uma vez que não houve um transpasse em relação ao máximo de 0,2s para a diferença entre os TRs das salas vazias e os TRs das salas cheias e os valores apresentados atenderam a todos os parâmetros qualitativos indicados na tabela. A salas de Padrão 3 podem ser consideradas como as que melhor funcionaram com a proposta de intervenção.

Figura 10 - Planta baixa - Salas Padrão 3.



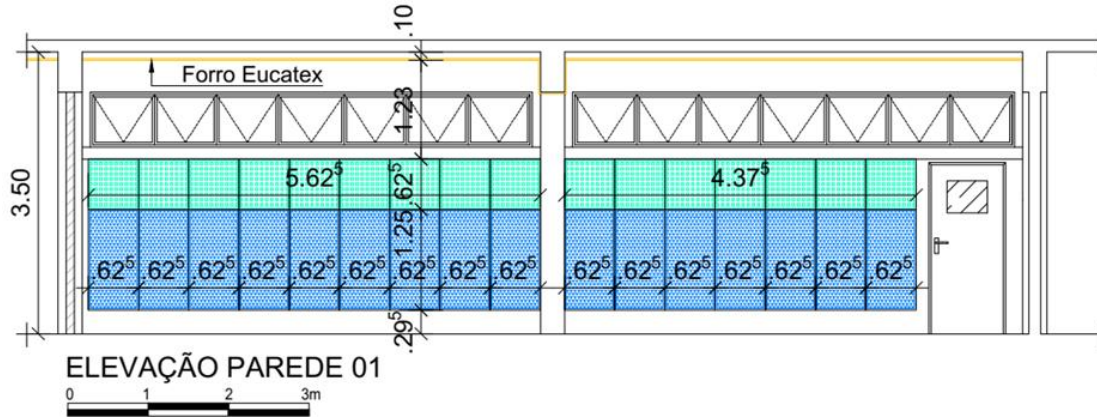
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11 - Planta de forro - Salas de Padrão 3.



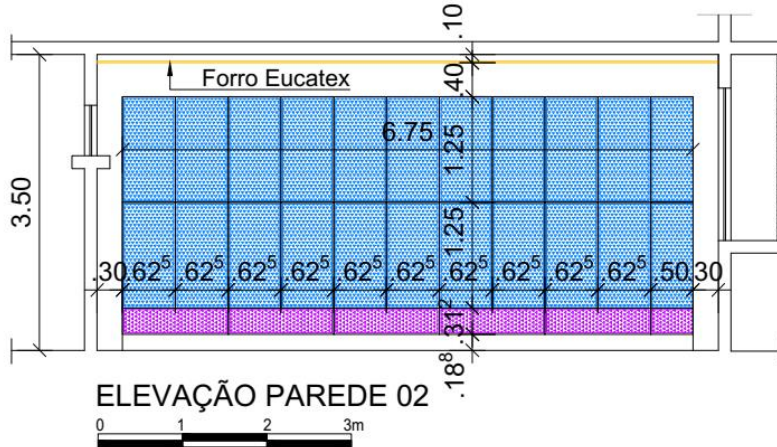
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 - Paginação da parede 01 - Salas Padrão 3.



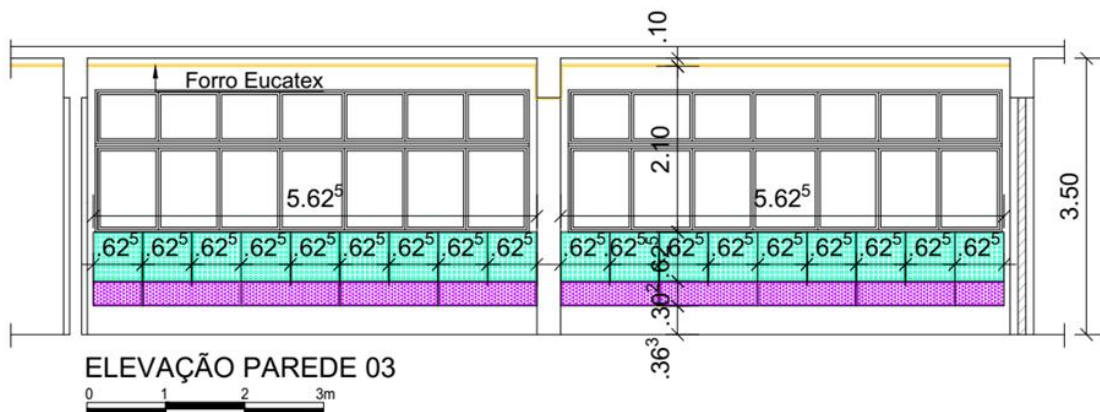
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 - Paginação parede 03 - Salas Padrão 3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 - Paginação parede 03 - Salas Padrão 3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerações finais

Por meio do estudo do condicionamento acústico das salas de aula dos novos blocos (14 ao 17) do *Campus Palmas*, do IFTO, com base nos procedimentos de cálculo expostos na ABNT NBR 12179 (1992) e na comparação com os parâmetros de referência extraídos de De Marco (1982), foi possível identificar uma inadequação acústica. Esta inadequação, que se apresentou de forma intensa, confirmou que a acústica, na maioria das vezes, é tratada com negligência nos projetos e obras, e não foi diferente no *Campus*.

A partir da inadequação detectada foi possível sugerir uma proposta de intervenção, que consistiu basicamente no aumento da absorção sonora do ambiente, por meio de novos materiais de superfície. A proposta trouxe a convicção de que soluções acústicas pensadas e baseadas em conhecimentos científicos comprovados, podem transformar a realidade acústica do ambiente completamente.

Pôde-se perceber nas demonstrações de cálculo da proposta de intervenção que intervir em acústica com o empreendimento já construído é tarefa complexa. Além disto, as limitações locais complicaram o emprego de diversos materiais, reduzindo assim as possibilidades de soluções.

Apesar das dificuldades encontradas nos estudos relacionados à acústica, o artigo mostrou que é possível que trabalhos como este sejam realizados, de forma que o estudo da acústica seja fomentado, visando ampliar os horizontes dos profissionais locais à esta área. Estudos como este podem também contribuir para a melhoria da acústica do *Campus*, sendo o início para trabalhos mais aprofundados ou até mesmo futuros projetos.

Referências

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

ANDRADE, Joana Maria Figueiredo Mota. **Caracterização do Conforto Acústico em Escolas**. 2009. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto, Portugal, 2009.

CAMPANELLA, Angelo J. **Table of Absorption Values**. Pennsylvania, Ohio, 2011. Disponível em: <http://www.campanellaacoustics.com/faq.html>. Acesso em: 27 mar. 2019.

CARVALHO, Régio P. **Acústica Arquitetônica**. Brasília: Ed. Thesaurus, 2006.

DE MARCO, Conrado Silva. **Elementos de Acústica Arquitetônica**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1982. 128 p.

DINIZ JR, José; BERNADETE, Lourdes. **SAÚDE VOCAL DO PROFESSOR: Cuidados e Prevenção**. PROJETO DE ATUALIZAÇÃO PEDAGÓGICA, [s. 1.], 2011.

FAU-USP – FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP. **Banco de dados de características acústicas**. 2003. Disponível em: http://www.fau.usp.br/arquivos/cpq/labs/labaut/conforto/Bd_Acustica_Versao_1.2.xls. Acesso em: 15 nov. 2018.

OWA SONEX BRASIL. Placa Acústica Sonex illtec Plano. Diadema, São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.owa.com.br/produtos/placas-acusticas-sonex-illtec/placa-acustica-sonex-illtec-forro-revestimento-acustico-plano.html>. Acesso em: 27 mar. 2019.

PAIXÃO, D.X.; GAIDA VIERO, C.; BRUM, C.M. Avaliação das características acústicas de espaços existentes para ensino e aprendizagem de música na educação básica. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ACÚSTICA, 7., 2012, Évora. **Anais...** Évora, Portugal. 2012.

SANTOS, Neri dos; DUTRA, Ana Regina de Aguiar; RIGHI, Carlos Antonio Ramirez;
FIALHO, Francisco Antonio Pereira; PROENÇA, Rossana Pacheco da Costa.
Antropotecnologia: a ergonomia dos sistemas de produção. Curitiba: Genesis, 1997.