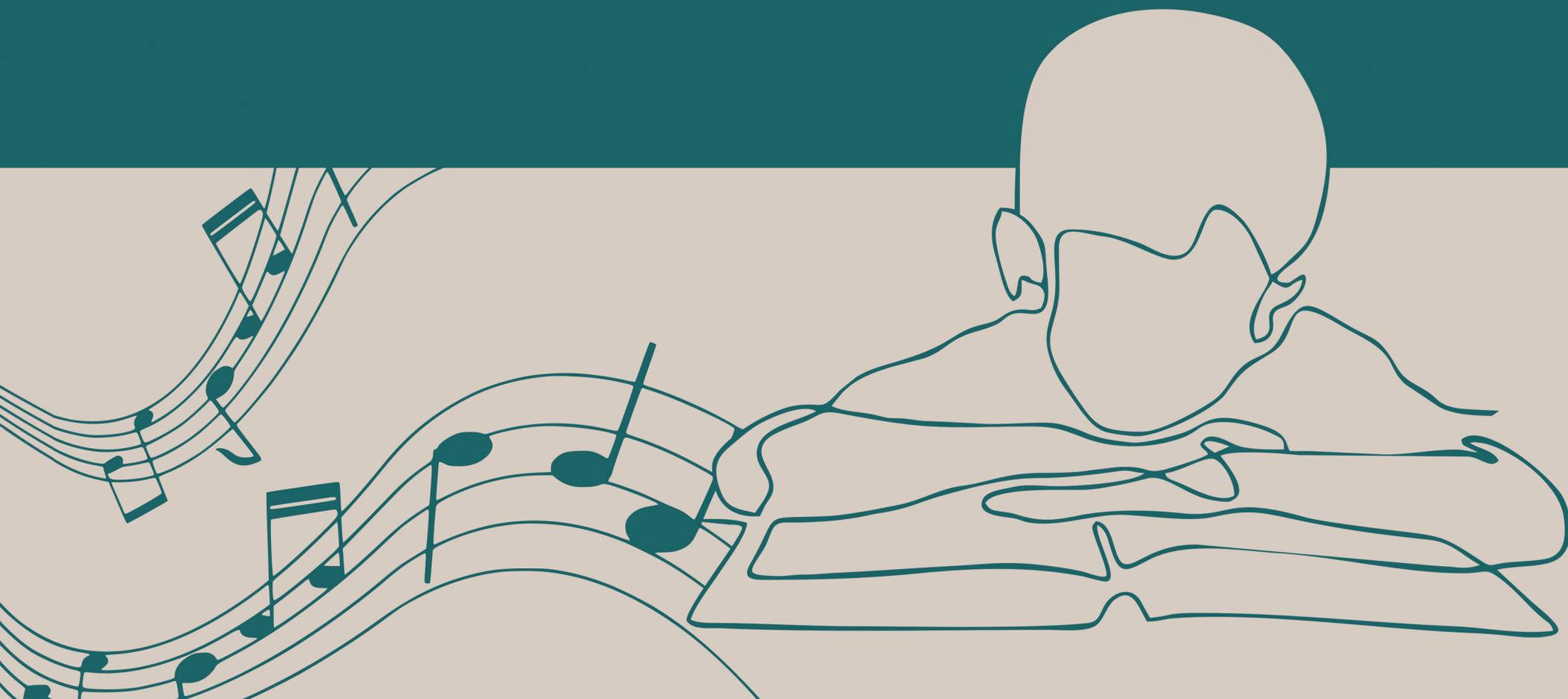


Marina Arcoverde  
Bezerra Soares

# Acústica no *ambiente escolar*

Análise e proposição de melhoria em escola  
pública da cidade de João Pessoa.





UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

ACÚSTICA NO AMBIENTE ESCOLAR:  
ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DE MELHORIA EM ESCOLA PÚBLICA DA CIDADE DE JOÃO PESSOA/PB

Trabalho Final de Graduação apresentado como requisito ao curso de Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal da Paraíba.

Autora: **Marina Arcoverde Bezerra Soares**

Orientadora: **Dra. Juliana Magna S. C. Morais**

João Pessoa – Paraíba

2020

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S662a Soares, Marina Arcoverde Bezerra.

Acústica em ambientes escolares: análise e proposição de melhoria em escola pública da cidade de João Pessoa/PB / Marina Arcoverde Bezerra Soares. - João Pessoa, 2020.

63 f.

Orientação: Juliana Magna Silva Costa Moraes.  
Monografia (Graduação) - UFPB/Campus I.

1. Conforto ambiental. 2. Acústica. 3. Escolas. I. Moraes, Juliana Magna Silva Costa. II. Título.

UFPB/BC

Marina Arcoverde Bezerra Soares

ACÚSTICA NO AMBIENTE ESCOLAR:

ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DE MELHORIA EM ESCOLA PÚBLICA DA CIDADE DE JOÃO PESSOA/PB

BANCA EXAMINADORA:

---

*Juliana Magna S. Costa Morais*

Prof. Dra. Juliana Magna da Silva Costa Morais

**Orientadora**

---

*Cláudia V. Torres Barbosa*

Prof. Dra. Cláudia V. Torres Barbosa

**Examinador**

---

*Tamáris Brasileiro*

Prof. M<sup>ª</sup>. Tamáris da Costa Brasileiro Menezes

**Examinador**



# AGRADECIMENTOS

## Agradeço

A Deus, por sempre estar ao meu lado, me protegendo durante toda minha trajetória

Aos meus pais, Guilherme e Sylvia, por sempre fazerem o impossível, me proporcionando as melhores oportunidades da vida, principalmente por sempre investirem na minha educação sem medir esforços, além de todo carinho e apoio.

Aos meus irmãos, Luisa e Pedro, por serem os melhores companheiros que a vida podia me dar.

À minha família, por serem o meu porto seguro e a melhor família do mundo.

Ao meu namorado, Ewerton, por sempre me motivar, e ser meu lar na ausência da minha família, além de nunca largar minha mão. À sua família, por me acolherem, José, Gil e Elton. E as maravilhosas Larii e Lu, que me adotaram.

À minha amiga Luuli, que foi extensão de Brasília e meu lar, e a toda sua família, pelo carinho intenso.

À Michelly por todo mimo e cuidado.

Aos meus amigos de Brasília: Luuh, Marina, Camilla, Hanne e Torugo, por se manterem presentes apesar da distância.

Aos meus amigos bichinhos, pela amizade e ajuda nos momentos mais difíceis que passei em João Pessoa: Aninha, Paulinha, Piri, Prins, Cucu, Laura, Mallow, Guiga, Maguinha, Elzinha, JR, Finha, Vittor, Titia, Vini, Duda, Evaldo, Rauny, Lua.

Aos meus colegas de curso, em especial, Yarmin, Victor, Gabi, Van D., Rafa, Migor, Lu, Gio, Van K, Mii, Ed, Lai e Chico por me ajudarem em todos os momentos, vocês tornaram tudo mais leve.

Aos amigos que a vida me deu: Pedro, Mila, Andrea, Rands, Tales, Rafa e Aninha, por estarem sempre presentes.

À minha orientadora, Juliana, por acreditar no meu potencial e sempre me incentivar a buscar mais.

Aos professores, Aluizio, Roberto e Daniel, por me apresentarem o maravilhoso mundo da acústica e nunca negarem ajuda.

Aos colegas do grupo de Acústica na UFPB, por sempre oferecerem ajuda, tornando essa trajetória mais fácil, em especial à Tamaris e Maria Isabel.

Às funcionárias da Escola Almirante Tamandaré: Isabel, Rosália, Juliana, Socorro, Luciana, Lindinalva e Rozieler por toda paciência e movimentação para tornar minha pesquisa possível.

À minha tia Liane, por me permitir viver no melhor lugar de João Pessoa.

À Equipe Martins Lucena e Massa Arquitetos, por me ensinarem o real mundo da Arquitetura, em especial Kleimer, Márcio e Toinho. Um agradecimento a Adriana também, por todo carinho.

A todos os meus professores da minha jornada acadêmica.

À minha psicóloga Liana, por cuidar da minha mente.

## RESUMO

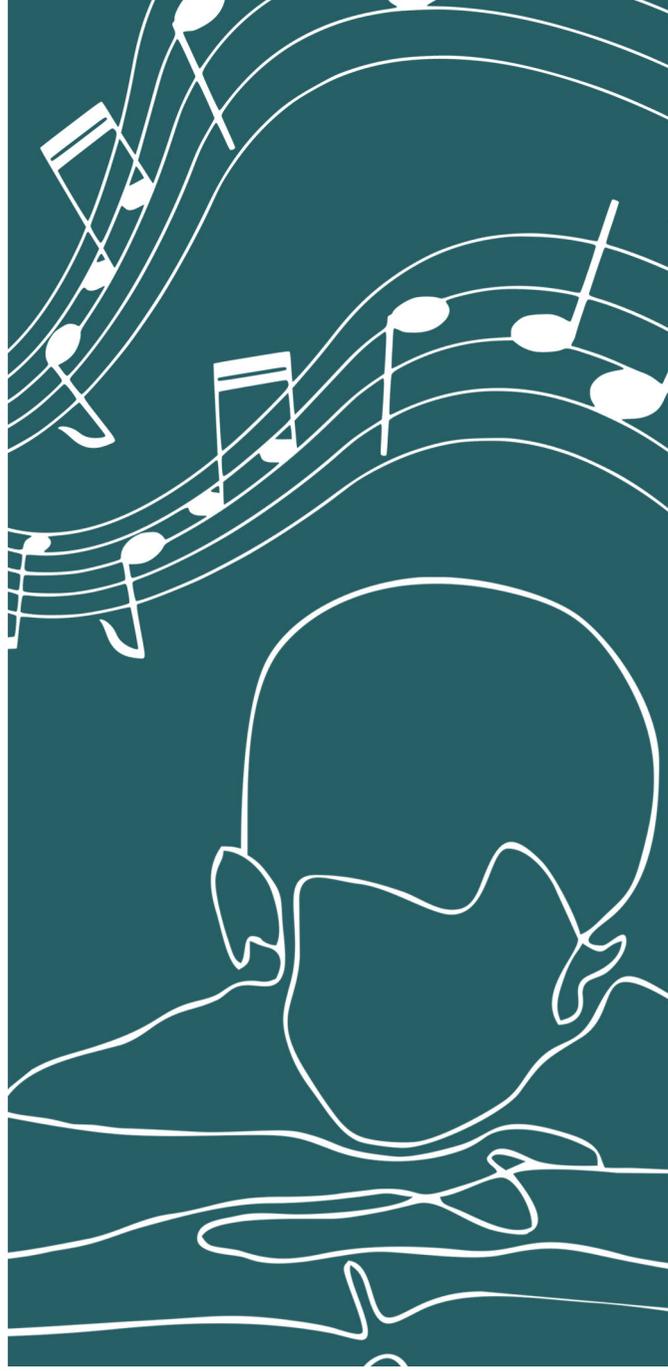
A arquitetura busca a melhor relação entre seres humanos e o ambiente construído, principalmente quando se trata de espaços nos quais o usuário passa a maior parte do seu dia, como é o caso das escolas. O processo ensino-aprendizagem está relacionado com a inteligibilidade da fala, com a comunicação entre alunos e professores e, a capacidade de concentração e atenção dos alunos, que contribuem para o desempenho cognitivo dos mesmos. Para alcançar tais objetivos as condições acústicas destes ambientes devem ser adequadas. A maioria das escolas brasileiras, no entanto, estão em condições desfavoráveis. Os recursos destinados às melhorias, com o objetivo de se promover qualidade acústicas, ainda são vistos como despesas e não como investimentos no processo da educação. O objetivo geral deste trabalho consistiu em avaliar e propor melhorias na acústica de escola da rede pública de João Pessoa, com o propósito de colaborar com o conforto acústico dos seus usuários e funcionários. Para tal, foram medidos parâmetros acústicos considerados pertinentes para este tipo de pesquisa, como Nível de Pressão Sonora (NPS), Tempo de Reverberação (TR) e Ruído de Fundo (RF). Os procedimentos metodológicos consistiram, em resumo, no diagnóstico qualitativo e quantitativo da escola, visando a avaliação das condições acústicas para posterior intervenção de isolamento e condicionamento acústico via projeto em nível de estudo preliminar. Desta forma, foram elencadas diretrizes acústicas para projetos escolares e, para o objeto de estudo em questão, novos materiais e identidade visual foram propostos trazendo melhor qualidade para as salas de aula do mesmo. A pesquisa reitera a importância de se incluir a acústica como uma condicionante primordial projetual, em busca de espaços mais humanizados e confortáveis.

**Palavras-chave:** Conforto ambiental, Acústica, Escolas.

## ABSTRACT

The architecture looks for the best relation between humans and the built spaces, mainly when the cases are about rooms whom the user spends the most time of day, like in the schools. The teaching-learning process is related to the speech intelligibility, to the communication between students and teachers, moreover, related to the student's concentration and attention skills, that contribute to their cognitive development. For achieve these objectives the classrooms should be suitable in acoustic condition, but, the most of brazilian schools are in bad order. The resources for this kind of improvement for a better acoustic quality is still considered like a unnecessary expense and not like a investment in education process. The research's goal was to evaluate and propose improvements to the acoustics in the public school studied, that's based in João Pessoa, with purpose to collaborate for the acoustic confort that benefits its users and professionals. For this, important parameters that are considered relevant for this research were measured, like the Sound Pressure Level (SPL), Reverberation Time (RT) and background noise. The methodologicals procedures consisted, in short, in the qualitative and quantitative diagnosis from the school, looking for an evaluation of the acoustic conditions for a future intervention including acoustic isolation and conditioning through a preliminary study in project. By the way, acoustics guidelines were listed for projects in the school and, for the subject research in analysis, new materials and visual identity were proposed, then, bringing more quality for the classrooms. The research confirms the importance of include the acoustics like a overriding design conditioning, looking for humanized and comfortable areas.

**Keywords:** Environmental comfort, Acoustics, Schools.



# SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
Apresentação do tema.....	14
Estrutura do Trabalho .....	17
<b>REFERENCIAL</b> .....	<b>19</b>
Referencial Teórico .....	20
Referencial Projetual .....	27
<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
1. Seleção e Caracterização do Objeto de Estudo.....	39
2. Caracterização do Entorno .....	40
3. Caracterização da Escola Estadual de Ensino Fundamental Almirante Tamandaré.....	42
4. Caracterização das Salas de Aulas .....	44
5. Pesquisa de Campo.....	48
<b>ANÁLISE E RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>
Análise e Diagnóstico de dados quantitativos.....	56
Análise e Diagnóstico de dados qualitativos.....	67
<b>PROPOSTA</b> .....	<b>73</b>
Diretrizes Projetuais Acústicas .....	74
Proposta de melhorias em nível de estudo preliminar .....	76
<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>89</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>91</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>94</b>



# INTRODUÇÃO



## Apresentação do tema

A poluição sonora é uma problemática que ganha ênfase no cenário Mundial, principalmente após dados da Organização Mundial da Saúde - OMS (2015) classificarem esta poluição como a segunda pior no ranking mundial, perdendo apenas para a poluição atmosférica.

Para se entender a poluição sonora, deve-se saber diferenciar o som e o ruído. Machado (2003) explica o som como qualquer variação do nível de pressão sonora ao qual o ouvido humano é capaz de captar de forma agradável, frequência limitada entre 16 Hz e 20.000 Hz, já o ruído é um tipo de som ou de conjunto de sons desagradáveis ou indesejáveis ao ouvido humano, trazendo sensação perturbadora e atingindo níveis inadequados de decibels.

Com o crescimento das cidades, estamos cada vez mais expostos ao ruído, que é o causador da poluição sonora. A exposição contínua ao ruído, além de gerar desconforto acústico, ocasiona efeitos negativos à saúde em geral, visto que a poluição sonora é já considerada um problema tanto ambiental como de saúde pública:

“São muitas as doenças e problemas relacionados ao excesso de ruído no ambiente. Alguns exemplos são: estresse, depressão, surdez, agressividade, perda de atenção e concentração, [...], queda de rendimento escolar e no trabalho, [...] e outras perturbações psíquicas e até tendências suicidas” (PEREZ, 2017).

Na avaliação acústica do ruído uma das principais variáveis avaliadas é o nível de pressão sonora - NPS. Este é medido em decibels e apresenta uma escala que varia de 0 até 140 dB (limite da audição humana), como mostra a Figura 01. A OMS avalia até 55 dB como o limite audível sem prejudicar a saúde humana. Acima deste valor, com exposições prolongadas pode ser prejudicial à saúde.

A acústica é uma ciência interdisciplinar que estuda os sons e suas vibrações, entre suas nuances, destaca-se a acústica ambiental que estuda o espaço urbano e a acústica arquitetônica que estuda o edifício e o espaço interno.

A acústica arquitetônica se ocupa em compreender o fenômeno som e ruído no ambiente, para se evitar o desconforto acústico e por meio desta, uma boa qualidade acústica pode ser alcançada, estudando e analisando o isolamento e o condicionamento acústico do ambiente.

“O projeto acústico de um determinado local é feito a fim de corrigir ou controlar a entrada ou saída de ruído, a presença de ecos ou reflexões nocivas, as suas condições de ressonância e o seu tempo de reverberação, para melhorar a inteligibilidade da palavra, a musicalidade e a percepção dos sons, em geral” (SILVA, 2005).

Figura 01: Espectro de decibels para diferentes atividades



Fonte: Arte ZH (2019), modificado pela autora

Adentrando a Arquitetura Escolar, a qualidade acústica destes ambientes está diretamente conectada com a inteligibilidade da fala, além da capacidade de concentração e de atenção dos discentes. Justificado em Paixão (1988), a acústica de ambientes escolares é uma problemática que ultrapassa os aspectos de aprendizagem e interfere no bem-estar de professores e alunos, podendo causar situações patológicas decorrentes do exercício profissional e da convivência em condições inadequadas. Ou seja, a má qualidade acústica pode além de prejudicar o aprendizado de alunos, pode causar estresse nos professores.

“Os aspectos físicos do ambiente de ensino são poucos citados nas discussões pedagógicas ou em estilos de aprendizagem, Como pelo menos 20% da população passam grande parte do dia dentro de prédios escolares, é pertinente indagar a respeito do impacto de elementos arquitetônicos sobre os níveis de aprendizagem de alunos e de produtividade dos professores ao transmitir conhecimentos. Para a comunidade escolar, deve existir a certeza de que o ambiente físico contribui

positivamente para criar o contexto adequado, confortável e estimulante para uma produção acadêmica expressiva” (KOWALTOWSKI 2011).

Segundo a OMS, o prejuízo do desenvolvimento e da educação causado pelo ruído pode surtir efeitos ao longo da vida sobre o desempenho acadêmico e a saúde, podendo prejudicar o desempenho cognitivo. A OMS estima também que 10% da população mundial está exposta a níveis de pressão sonora que potencialmente podem causar perda auditiva induzida por ruído - PAIR.

A União Europeia lançou, no ano de 2018, o documento “Environmental Noise Guidelines for the European Region” com a tradução “Diretrizes sobre o ruído ambiental para a região europeia”, identificando os níveis em que o ruído tem impacto significativos para a saúde e trouxe recomendações para reduzir a exposição na região europeia, fornecendo, assim, fortes evidências nas quais o ruído é um dos maiores riscos ambientais para a saúde física e mental.

No Brasil, existem legislações que delimitam os níveis aceitáveis de ruído, baseada em alguns órgãos, como a Organização Mundial da Saúde, a Organização Internacional do Trabalho além da Associação Brasileira de Normas Técnicas, do Conselho Nacional do Meio Ambiente e do Ministério do Trabalho e Emprego.

De acordo com a Tabela 01, da NBR 10.152 - Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações, de 2017, o nível de pressão sonora indicado para salas de aulas é de 35 dB, com máximo permitido de 40 dB, o que servirá de parâmetro para este trabalho. Percebe-se que atualmente nas escolas brasileiras, este valor é dificilmente atingido, o que ressalta a importância desse trabalho, segundo Losso (2003).

A escolha da temática no âmbito do conforto acústico ocorre principalmente por esta ser um aspecto importante tanto como de saúde pública quanto ambiental. A falta de conhecimento a respeito da importância do tratamento acústico para o bem-estar da população e a falta de estudos mais aprofundados do tema, serviram de motivos que guiaram a escolha desta pesquisa. Justifica-se também que não há estudo desta natureza no âmbito de escolas na cidade de João Pessoa. A acústica apresenta grande relevância no processo ensino-aprendizagem, além da Escola ser

Tabela 01 - Valores de referência para ambientes internos de uma edificação

Finalidade de uso	RL <sub>aeq</sub> (dB)	RL <sub>amax</sub> (dB)	RL <sub>nc</sub>
<b>EDUCACIONAIS</b>			
Salas de aula	35	40	30

Fonte: ABNT (2017), modificado pela autora

o ambiente de maior permanência dos estudantes. Desta forma, o local escolhido para a aplicação da pesquisa foi uma Escola Estadual, no bairro do Castelo Branco, João Pessoa, Paraíba.

O objetivo geral deste trabalho consistiu em avaliar e propor melhorias na acústica desta escola da rede pública de João Pessoa, com o propósito de colaborar com o conforto acústico dos seus usuários e funcionários. Já os objetivos específicos consistiram em:

1. Levantar quantitativamente os parâmetros atuais de Tempo de Reverberação, Nível de Pressão Sonora e Ruído de Fundo de salas selecionadas;
2. Entender o nível de satisfação dos usuários da Escola Estadual Almirante Tamandaré
3. Propor melhorias no conforto acústico de salas de aula previamente selecionadas do edifício estudado.
4. Identificar diretrizes para a melhoria do conforto acústico em projetos arquitetônicos de escolas;

## Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em capítulos que representam as quatro partes dos diferentes momentos do decorrer da pesquisa:

- A primeira parte, denominada **Embasamento Teórico**, consistiu na revisão exploratória, na busca do referencial teórico, além da análise de correlatos – buscando construir pesquisa teórica com informações acadêmicas a cerca do tema.
- A segunda parte, denominada **Diagnóstico**, fase esta que consistiu na caracterização física do estudo de caso, além da aplicação de formulário e por fim, as medições *in loco*.
- A Terceira parte, denominada **Análise**, consistiu na síntese dos resultados das medições, além da elaboração de gráficos e análise dos dados obtidos.
- A quarta parte, denominada **Proposta**, fase esta que consistiu na elaboração das propostas de melhorias no projeto acústico de algumas salas da escola estudada, estando estas em nível de estudo preliminar.

Por fim nas considerações finais relata-se em resumo os êxitos da pesquisa, bem como as dificuldades encontradas, e propõe-se futuros trabalhos que possam vir a completar este estudo.



# REFERENCIAL

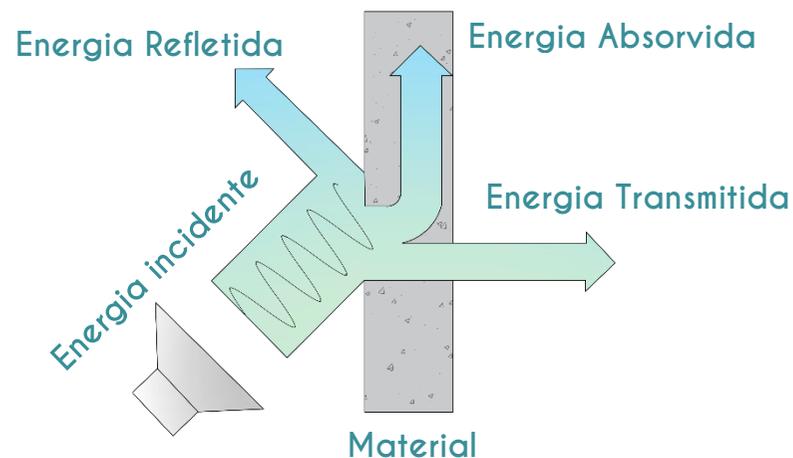
## Referencial Teórico

### Energia Sonora

Para caracterizar uma superfície de acordo com o comportamento acústico, deve-se levar em consideração as propriedades da onda sonora ao incidir em um obstáculo. A energia sonora ao ter contato com o obstáculo tem parte refletida, parte absorvida e parte transmitida, segundo Pereira (2015).

Então, analisar um material, em relação ao seu comportamento acústico, significa entender a quantidade de energia absorvida, além da porção refletida e transmitida. Para um ambiente interno, a porção de som absorvida é de extrema importância, pois influenciará na qualidade acústica deste.

Figura 02 - Energia Sonora em contato com uma superfície



Fonte: PEREIRA 2015, modificado pela autora

### Nível de Pressão Sonora (NPS)

O nível de pressão sonora pode ser utilizado para avaliar o nível de ruído existente em determinado ambiente, visto que a mesma é capaz de quantificar a sensação sonora captada pelo ouvido humano. Conforme Tavares (2016), a pressão sonora é a intensidade das vibrações sonoras ou das variações de pressões associadas, sendo esta, expressa em Pascal (Pa) ou Newton por metro quadrado ( $N/m^2$ ), mas representar a pressão sonora em escala linear é impraticável, pois esta varia de valores muito pequenos a valores muito grandes. Sendo assim, o ouvido humano não responderá linearmente aos estímulos e sim, logaritmicamente. Portanto, a pressão sonora estudada em escala logarítmica é expressada em decibels (dB). Para se calcular o nível de pressão sonora é utilizada a Equação 01, mostrada a seguir. A aferição dessa importante variável - NPS - foi tratada no capítulo de Metodologia deste trabalho.

Equação 01

$$NPS = 20 \times \log (P_s/P_0)$$

Na qual:

$P_s$ = Pressão Sonora no ambiente

$P_0$ = Pressão Sonora de Referência ( $2 \times 10^{-5}$  Pa)

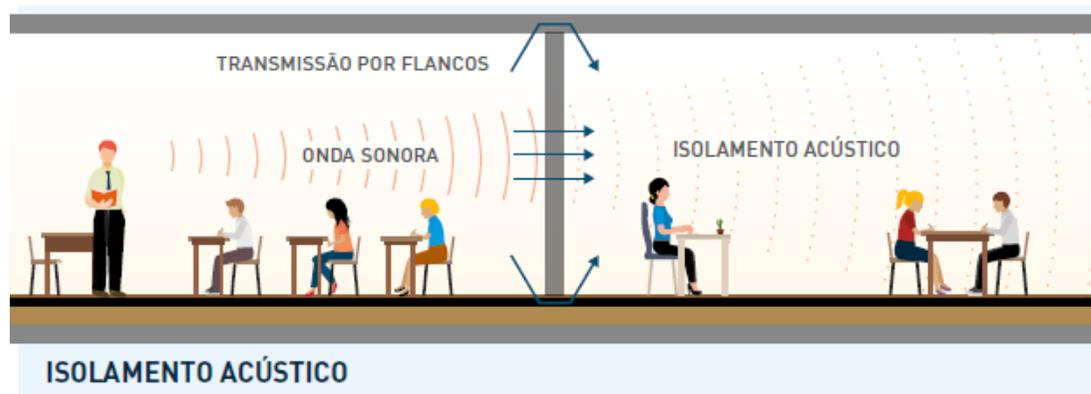
## Acústica em ambientes fechados

Ao qualificar a acústica do ambiente é importante verificar a influência que este sofre do meio externo, o isolamento acústico e, a qualidade interna do mesmo, ou seja, o condicionamento acústico. De acordo com Kowaltowski (2011), a influência do meio externo está relacionada com as fontes de ruído, além da capacidade de isolamento das aberturas, já a qualidade interna refere-se à geometria do espaço, à absorção sonora e à potência e, localização das fontes sonoras.

### Isolamento Acústico

Paixão (2002) cita que o isolamento acústico tem por finalidade impedir a transmissão de sons de um ambiente para o outro, ocorre quando fonte e receptor estão em ambientes distintos, como mostrado na Figura 03, a seguir:

Figura 03 - Exemplo de Isolamento Acústico



Fonte: Manual ProAcústica (2019)

O parâmetro que melhor define o isolamento de um sistema é a Perda de transmissão sonora- PT que é a quantidade de energia sonora reduzida na transmissão através do elemento construtivo (BISTAFA, 2006). Esta variável em painéis simples (sólidos e homogêneos como é o caso de lajes) é fortemente dependente da frequência do som incidente e da massa do painel, de modo que quanto maior a frequência e maior a massa, maior o isolamento. Essa relação pode ser demonstrada na Equação 02.

Equação 02

$$PT = 20 \log(f \cdot M) - 47 \text{ dB}$$

Onde:

f é a frequência da onda sonora incidente (Hz)

M é a densidade superficial da partição (kg/m<sup>2</sup>)

## Condicionamento Acústico

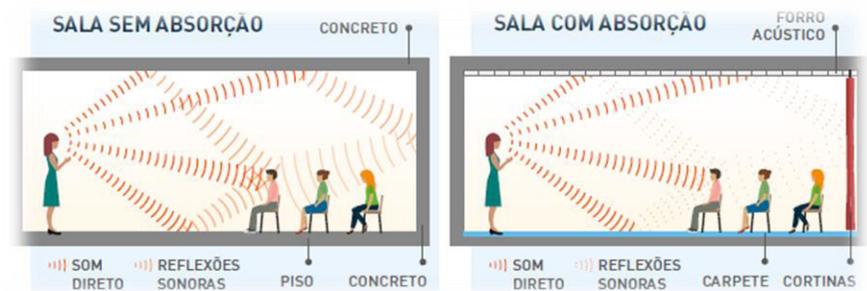
Segundo Marros (2011), o condicionamento acústico busca adequar acusticamente um recinto fechado, proporcionando a qualidade acústica, de acordo com o uso o qual está designado. Neste caso, fonte e receptor se encontram no mesmo ambiente. A qualidade acústica dependerá então do tempo de reverberação, das reflexões sofridas pelo som, e até mesmo a qualidade absorptiva (coeficiente de absorção) dos materiais presentes.

“O projeto acústico de um determinado local é feito a fim de corrigir ou controlar a entrada ou saída de ruído, a presença de ecos ou reflexões nocivas, as suas condições de ressonância e o seu tempo de reverberação, para melhorar a inteligibilidade da palavra, a musicalidade e a percepção dos sons, em geral” (SILVA, 2005).

## Absorção Acústica

O som dentro de ambiente recluso será absorvido, refletido ou transmitido de formas diferentes, como já dito anteriormente, mas o que determinará isto são as características acústicas de cada material presente no ambiente. As sucessivas reflexões do som no espaço interno (mostrada na Figura 04) é o que resultará no cálculo do tempo de reverberação, mas a absorção do som também influencia diretamente a reverberação do ambiente.

Figura 04 - Diferença de sala sem absorção e com absorção



Fonte: Manual ProAcústica (2019)

De acordo Souza et al (2013), a absorção sonora ou acústica é a propriedade dos elementos construtivos de dissipar em maior ou menor grau o som que incide sobre eles.

Os materiais absorventes bons são aqueles que “respiram”, ou seja, materiais que permitem que as moléculas do ar penetrem e se movimentem no seu interior (BISTAFA, 2006), perdendo energia sonora.

Para se caracterizar a absorção de elemento construtivo deve-se levar em conta o seu coeficiente de absorção ( $\alpha$ ), que consiste na razão entre a parcela de som absorvida pela superfície e a parcela de som incidente na mesma superfície (Equação 03). A absorção varia de acordo com a frequência dos sons, e para os materiais porosos, quanto maior a frequência, maior a absorção.

Equação 03

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i}$$

Onde:

$E_a$ : Energia sonora absorvida pela superfície do material

$E_i$ : Energia sonora incidente na superfície do material

Pode-se dizer também que, quanto maior a capacidade de absorção dos materiais no ambiente, menor o seu tempo de reverberação.

O coeficiente de absorção de um material possui valor entre 0 e 1, variando em cada frequência. Os materiais mais refletores possuem valores próximos a zero, já os materiais mais absorventes possuem valores de coeficiente mais próximos a 1, exemplificado na Tabela 02. Destaca-se que pessoas também alteram a absorção das ondas sonoras do ambiente, influenciando no desempenho acústico.

Ao se realizar o tratamento acústico do ambiente, as escolhas dos materiais e a área dos mesmos influenciarão diretamente a qualidade acústica do ambiente:

“Quando o arquiteto propõe o tratamento de uma superfície com determinado material, ele determina áreas de aplicação de materiais, que é um indicador quantitativo. Conhecer, portanto, o coeficiente de absorção, é essencial para a qualidade acústica do ambiente” (SOUZA et. al. 2013).

A unidade adotada para a absorção total são sabinesmétrico ( $S_m$ ), em homenagem a Wallace Sabine, pai da acústica arquitetônica, esta unidade equivale à absorção de uma “janela aberta”, para a qual todo e qualquer som incidente é absorvido. A absorção da superfície é determinada de acordo com a multiplicação da área do material por seu coeficiente e a absorção sonora total de uma sala será a soma da absorção promovida por cada superfície que compõe o ambiente.

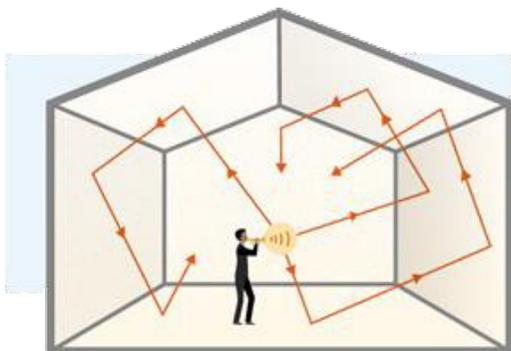
Tabela 02 - Coeficiente de absorção de alguns materiais

Materiais	Frequências					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1K Hz	2K Hz	4K Hz
Cadeira estofada, chata, com tecido	0,13		0,2		0,25	
Portas de madeiras, fechadas	0,14		0,06		0,1	
Vidraça de janela		0,04	0,03	0,02		
Superfície de concreto	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Uma pessoa com cadeira	0,33		0,44		0,46	
Janela Aberta	1	1	1	1	1	1
Concreto	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Reboco Liso	0,022	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Reboco Áspero	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07

Fonte: ABNT (1992), modificado pela autora

## Reverberação Sonora

Figura 05 - Reflexões sucessivas em um ambiente



Fonte: Manual ProAcústica (2019)

Segundo Souza et al (2013), a reverberação é o fenômeno resultante das reflexões das ondas sonoras em ambiente fechado, que é medida por meio do Tempo de Reverberação (TR).

O tempo de reverberação quantifica a absorção acústica dos ambientes, podendo ser definido como o tempo necessário para a Energia Sonora decair em relação à Energia Incidente, um milhão de vezes, assim, é o tempo necessário para que o Nível de Pressão Sonora decaia 60 dB e para que as ondas sonoras deixem de serem percebidas (SANTOS, 2005).

Recintos fechados podem apresentar superfícies reflexivas, que refletem o som, como paredes lisas, pisos, forro em gesso, ou por superfícies absorventes, que absorvem o som, como forros acústicos. As superfícies reflexivas são responsáveis por aumentar a reverberação, já as superfícies absorventes contribuem para diminuir a reverberação.

O tempo de reverberação depende do volume, da área de absorção das superfícies internas, da ocupação do ambiente (móveis, objetos e pessoas), ou seja, do coeficiente de absorção dos materiais, e da característica do espaço (geometria). Em salas de aulas, se o tempo de reverberação for longo ocorre mascaramento das consoantes pelas vogais,

além da sobreposição de sílabas, atrapalhando o processo de aprendizagem, segundo Kowaltowski (2011). Para se reduzir o TR, pode-se ou diminuir o volume do ambiente ou aumentar a absorção do som.

O tempo de reverberação pode ser aferido de forma analítica, por algumas fórmulas, entre elas, a fórmula mais utilizada é de Wallace C. Sabine (Equação 04), sendo este o pioneiro no estudo do assunto.

Equação 04

$$TR = 0,161 \frac{V}{\Sigma A}$$

Na qual:

TR= Tempo de Reverberação, em segundos (s)

V= Volume do ambiente, em metro cúbico (m<sup>3</sup>)

A= Absorção da sala, em metro quadrado (m<sup>2</sup>)

O tempo de reverberação ótimo para o ambiente dependerá do tipo de atividade que serão realizadas e do volume do ambiente, então não existe um tempo de reverberação apropriado a todos ambientes. Seguindo a norma sobre tratamento acústico em recintos fechados - NBR 12.179, o tempo de reverberação ótimo é o tempo de reverberação considerado ideal para determinado recinto e determinada atividade, expresso em segundos.

O Gráfico 01, representado ao lado, mostra o tempo ótimo de reverberação para a frequência de 500 Hz para alguns tipos de ambientes, com variação de volume destas. Percebe-se, segundo o gráfico, que não existe tempo de reverberação ótimo para o objeto de estudo deste trabalho (salas de aula), mas existe um ambiente de atividade próxima, que foi utilizada de referência: salas de conferência.

Desta forma, Alves (2017) apud Assenlineu (2015) cita que em salas de aula, o tempo de reverberação ótimo recomendado varia entre 0,4 a 0,8. Bistafa (2011) afirma que para salas de aula, o tempo de reverberação deve ser relativamente curto, afinal o som reverberante que permanece na sala prejudica a inteligibilidade do som direto.

A medição de TR se baseia na norma ISO 16283-3, com referência à ISO 3382-2, como explicado no capítulo de Metodologia deste trabalho.

Gráfico 01 - Tempo ótimo de Reverberação em função do volume para diferentes tipos de atividades



Fonte: NBR 12.179 (1992).

## Ruído de Fundo (RF)

○ Ruído de Fundo é todo ruído existente no interior de um ambiente quando não há nenhuma atividade no mesmo, podendo ter diversas origens, internas ou externas, e que alterará as medições realizadas, (MATHEUS, 2008). As medições desta variável está explicada no capítulo de Metodologia e foram realizadas segundo a ISO 16283-2.

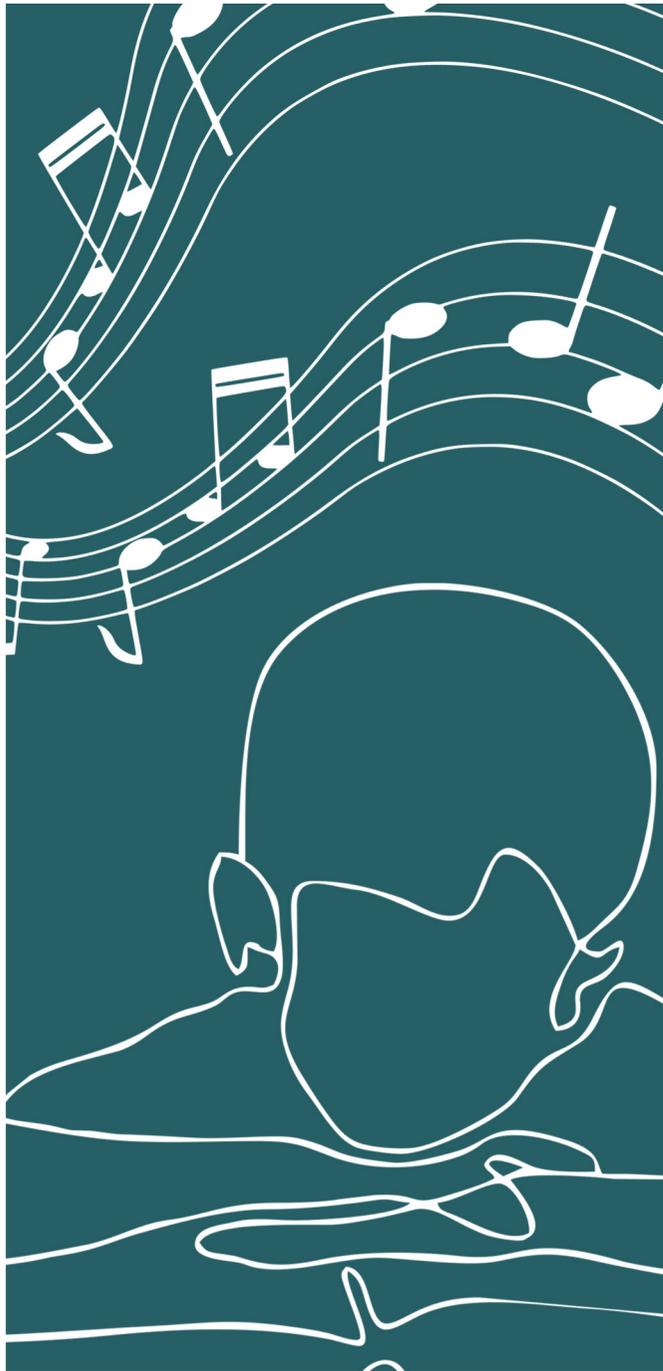
## Normas

A norma NBR 10.151, utilizada neste trabalho, com o título “Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas” (2019), explica o método para medições do nível de pressão sonora externos e internos às edificações e determina quais os limites de NPS para finalidades de uso e ocupação do solo no local onde a medição for executada, em cada período, visando à saúde e ao sossego público.

Já norma NBR 10.152, citada anteriormente, com o título “Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações” (2017), é um complemento da NBR 10.151, e estabelece os procedimentos técnicos a serem adotados na execução de medições de NPS em ambientes internos a edificações, bem como os valores de referência para avaliação dos resultados em função da finalidade de uso do ambiente.

Outra norma técnica brasileira utilizada nesse trabalho, em vigor, quanto ao condicionamento acústico é a NBR 12.179 (1992), com o título “Tratamento acústico em recintos fechados, com objetivo de estabelecer critérios fundamentais para a execução do tratamento acústico em ambientes reclusos.

# REFERENCIAL PROJETUAL



Um dos objetivos desta pesquisa é a proposição de melhorias no conforto acústico de salas de aula da escola em questão, deste modo, foi necessário a busca de referenciais projetuais para abastecer as decisões em relação à acústica de tais ambientes. Foram escolhidos dois referenciais projetuais: a Escola Erich Walter Heine e a Escola Desembargador Amorim Lima, ambas pertencentes à rede pública, mas com a maioria de decisões projetuais distintas.

## Escola Estadual Erich Walter Heine

A Escola Erich Walter Heine, mostrada na Figura 06, é a primeira instituição de ensino totalmente sustentável da América Latina, que recebeu a certificação Leed (Leadership in Energy and Environmental Design), concedida pela organização internacional Green Building Council, localizada no bairro de Santa Cruz (Figura 07), Rio de Janeiro. Apresenta a segunda melhor média de rendimento escolar do Estado, sendo esta da rede Estadual, com ensino médio, e possui a capacidade de 600 alunos.

Figura 06 - Fachada da E.E. Erich Walter Heine



Fonte: porvir.org <Acesso em: 20/10/2019>

Figura 07 - Localização da E.E. Erich Walter Heine



Fonte: Google Earth, modificado pela autora

O projeto foi realizado pelo escritório de arquitetura Arketus, no início no ano de 2004, e foi entregue no ano de 2011, apresenta área de 8.950 m<sup>2</sup>. Foi construída pela ThyssenKrupp CSA, por meio de parceria com o Governo do Estado e a prefeitura do Rio de Janeiro, após entregue passou por uma série de inspeções do LEED, atestando a eficácia de mais de 50 medidas de sustentabilidade, entre estas, o conforto acústico.

O edifício é composto por quatro módulos, facilitando a implantação no terreno, com formato de “cata-vento”, com pátio interno no centro com sistema de exaustão por meio de uma claraboia, permitindo ventilação natural entre os ambientes. Os corredores estão voltados para o pátio em busca de aproveitar a luz natural, como mostrado nas Figuras 08 e 09. A escola está implantada no centro de um conjunto habitacional, com pouco comércio e baixo nível de ruído urbano, com transportes públicos passando em via a aproximadamente 500 metros de distância.

Figura 08 - Planta Baixa Térreo E.E.  
Erich Walter Heine

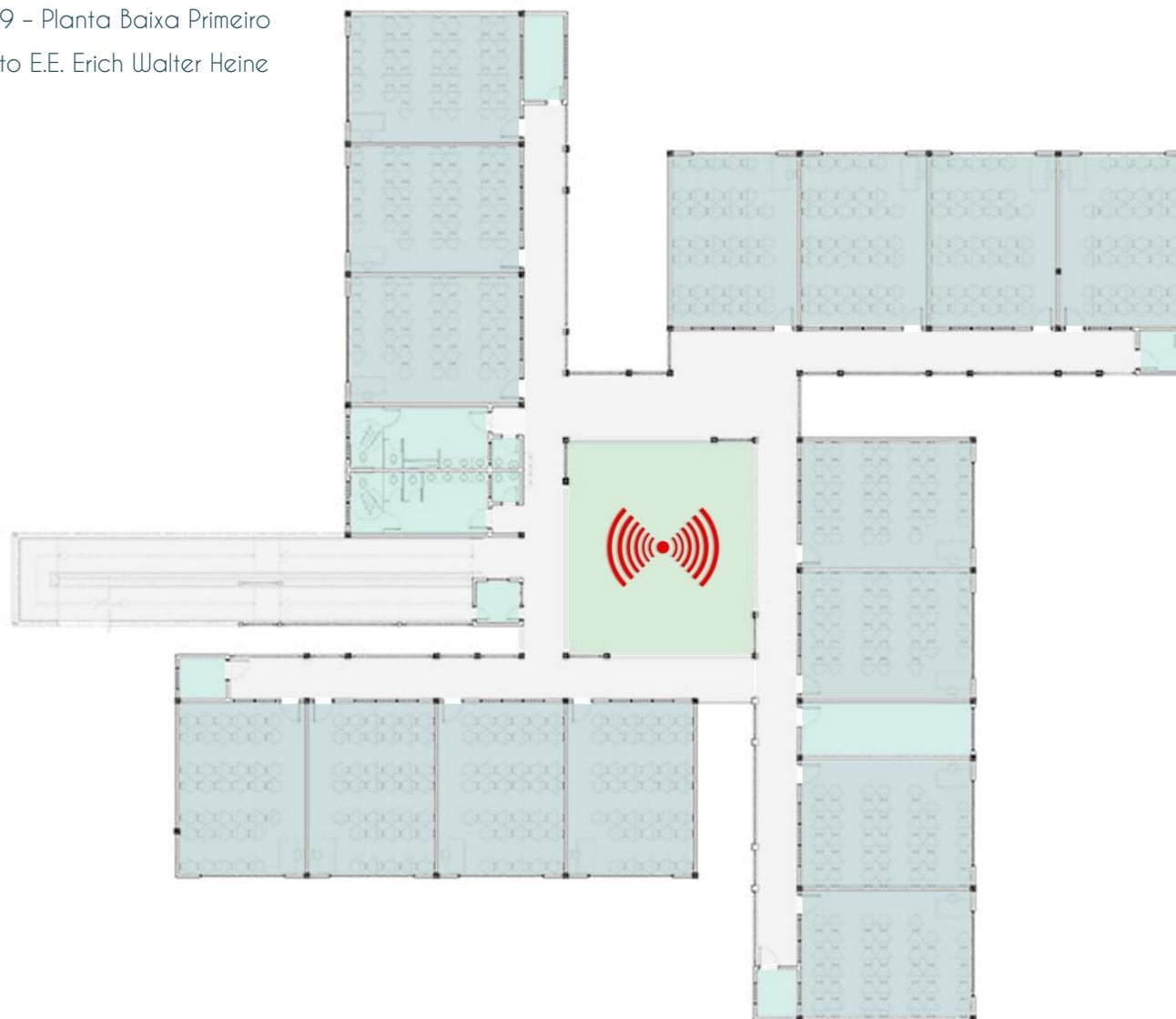


**LEGENDA**

AUDITÓRIO	BANHEIROS	SALA DE INFO.	SECRETÁRIA	LABORATÓRIO	COZINHA	SALA PROF.
SALA MULTI.	PÁTIO	SALAS DE ESTU.	SALA GESTÃO	REFEITÓRIO	ÁREA SERV.	CIRCULAÇÃO
SALA DE LEITURA	BIBLIOTECA					

Fonte: <https://www.arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/ecoefficiencia>, Acesso em: <10/10/2019> modificado pela autora

Figura 09 - Planta Baixa Primeiro Pavimento E.E. Erich Walter Heine



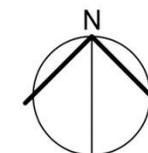
#### LEGENDA

■ SALAS DE AULA  
■ DE MAIS AMBIENTES

■ CIRCULAÇÃO  
■ MEZANINO PÁTIO

⊘ RUIDOS INTENSOS

0m 5m 10m



Fonte: <https://www.arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/ecoefficiencia>, Acesso em: <10/10/2019> modificado pela autora

Devido a implantação já citada, a escola não possui interferência do ruído externo, o problema maior era o ruído da própria escola. Então para melhor desempenho acústico, ocorreram as seguintes mudanças, mostradas em resumo na Figura 14:

1. O ar-condicionado foi do tipo split, com troca de ar por meio de ventilação dutada;
2. As paredes externas tiveram sua espessura dobrada;
3. Na parte interna das salas de aula, o forro escolhido foi com melhor performance acústica;
4. As salas não puderam ultrapassar 45 dB, recomendados pela norma brasileira para escolas;
5. Utilizou-se vidros com maior espessura;
6. Usou-se piso monolítico sem encaixes.
7. Escolheu-se portas mais espessas;
8. Colocou-se esquadrias com isolamento acústico;
9. Casas de máquinas receberam piso emborrachado, absorvendo a vibração dos aparelhos de exaustão mecânica.
10. Os condensadores foram apoiados no telhado verde, utilizando sistema modular alveolar do tipo galocha em EVA.

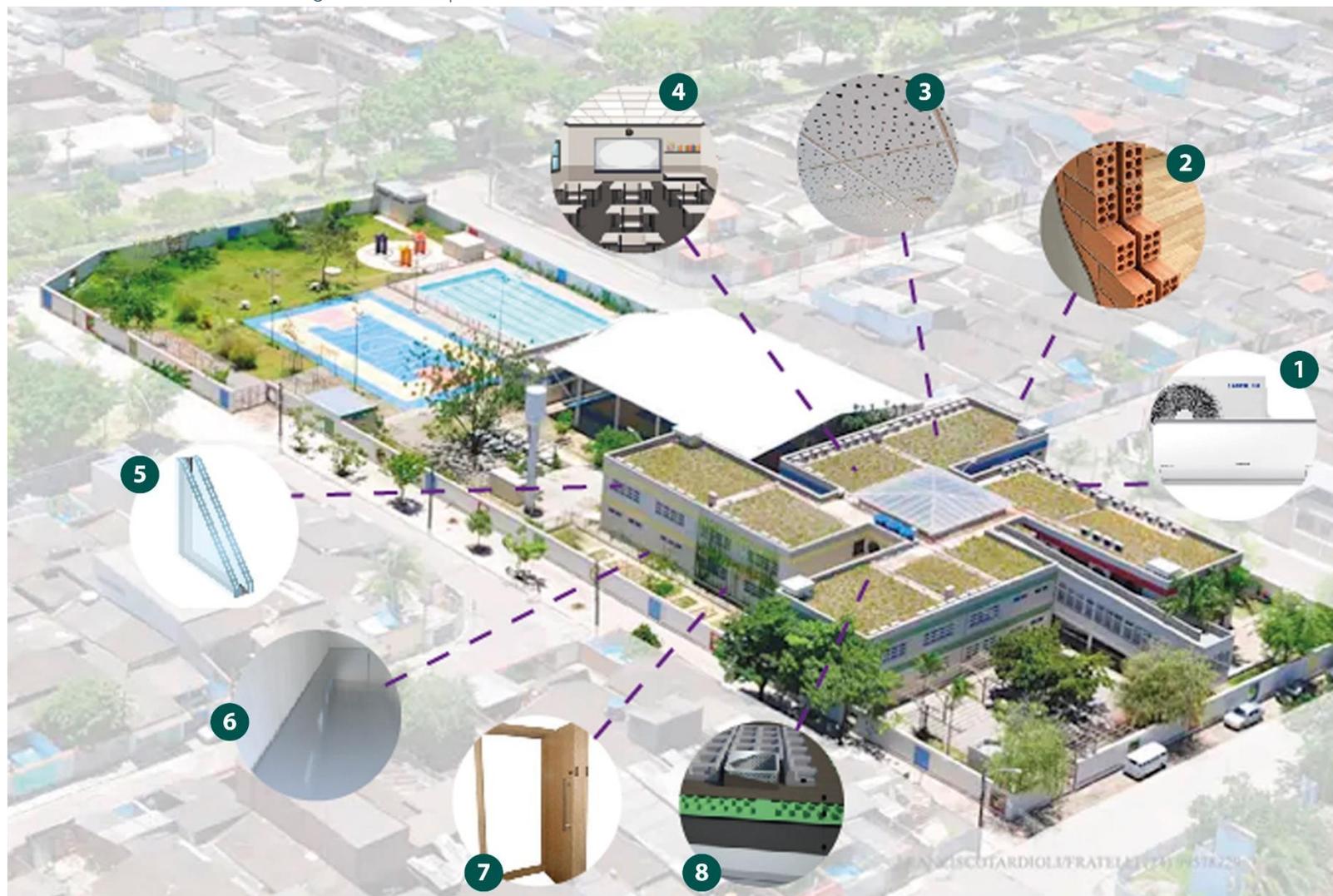
As Figuras 10, 11, 12 e 13 mostram algumas imagens da escola para melhor percepção do espaço interno.

Figuras 10,11,12 e 13 - Imagens internas da E.E. Erich Walter Heine



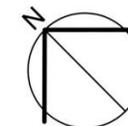
Fonte: <https://www.condominiosverdes.com.br/conheca-a-primeira-escola-da-america-latina-a-receber-a-certificacao-leed/>. Acesso em <19/12/2019>

Figura 14 - Esquema de materiais Tridimensional da E.E. Erich Walter Heine



LEGENDA

- |                         |                      |                      |                      |
|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 AR CONDICIONADO SPLIT | 3 FORRO ACÚSTICO     | 5 VIDRO MAIS ESPESSE | 7 PORTA MAIS ESPESSE |
| 2 PAREDE DUPLA          | 4 SALA COM ATÉ 45 dB | 6 PISO MONOLÍTICO    | 8 TELHADO VERDE      |

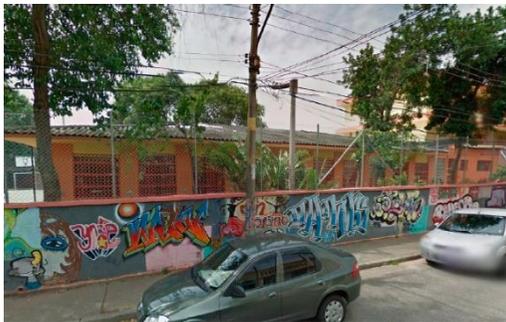


Fonte: <https://ecotelhado.com/sistema/colegio-erich-heine-rj/>, modificado pela autora

## Escola Municipal de Ensino Fundamental Desembargador Amorim Lima

Outro projeto foi da Escola Desembargador Amorim Lima, que está localizada no bairro de Butantã, São Paulo, próxima a Avenida Corifeu Azevedo, como mostra a Figura 15, a área circundante é composta de parte comercial e parte residencial. Atualmente, após diversas modificações na sua composição, a escola se dispõe longitudinalmente na fachada Noroeste, sendo a junção de dois antigos edifícios isolados, o primeiro com térreo (Figura 16) e um pavimento e o bloco mais recente térreo, mais dois pavimentos (Figura 17). Sua inserção se dá em amplo terreno e a implantação no lote permite significativa área verde, na qual se encontra quadras poliesportivas, horta, bosque, parquinho e área de cerca de 100 m<sup>2</sup> para exercícios lúdicos.

Figuras 15,16 e 17 - Fachadas da Escola Desembargador Amorim Lima



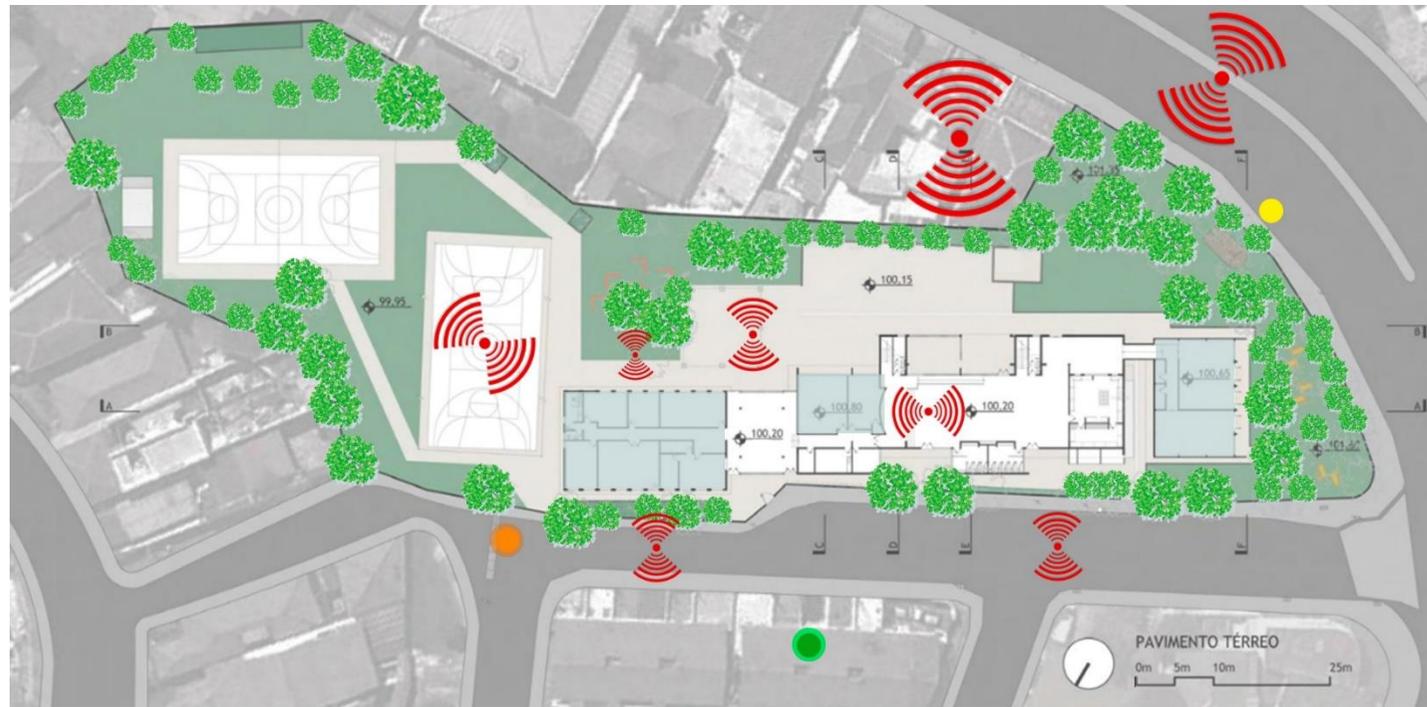
Fonte: Associação ProAcústica (2019)

Diferentemente de outras escolas, a Escola Amorim Lima possui proposta diferenciada de ensino, seguindo os preceitos da Escola da Ponte, idealizada por José Pacheco, e não dispõe de salas de aulas tradicionais, e sim, de salas que chegam a comportar cerca de 90 alunos.

Verificando a implantação da escola, mostrada na Figura 18, percebe-se que as salas de aula no térreo estão localizadas próximas a rua de tráfego moderado. As salas mais a nordeste sofrem influência acústica tanto do tráfego da rua, quanto das quadras poliesportivas, além das áreas de livre circulação. As salas mais a sudoeste sofrem influência da avenida de tráfego intenso, das paradas de ônibus, localizadas próximas, além da área comercial que se encontra nessa avenida, como bares, bancos e serviços em gerais.

Analisando a parte interna da escola, percebe-se que a área administrativa da escola se situa entre as salas de aula. Percebe-se também que não existem barreiras acústicas entre as áreas de livre circulação com as salas de aula. Desta forma, áreas como a quadra poliesportiva, bem como o parquinho interferem na acústica das salas de aula.

Figura 18 - Planta Baixa Térreo Escola Desembargador Amorim Lima



**LEGENDA**

SALAS DE AULA

RUÍDOS INTENSOS

RUÍDO MODERADO

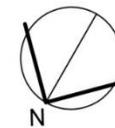
PONTO DE ÔNIBUS

DEMAIS AMBIENTES

VEGETAÇÃO

RUÍDO LEVE

0m 5m 10m 25m



Fonte: BARÃO (2012), modificado pela autora

Nos pavimentos superiores, as salas de aula integradas sofrem interferência tanto do meio externo, principalmente das avenidas, como também da quantidade de alunos em um ambiente único.

Devido aos mais diversos ruídos internos e externos, bem como a falta do projeto acústico, a Escola Amorim Lima estava em condições insalubres de qualidade acústica. Assim, a partir da ação solidária da Associação ProAcústica e parcerias, a escola passou por intervenções recentes para a melhoria da qualidade acústica da mesma.

Para a realização da intervenção foram realizadas algumas etapas de projeto:

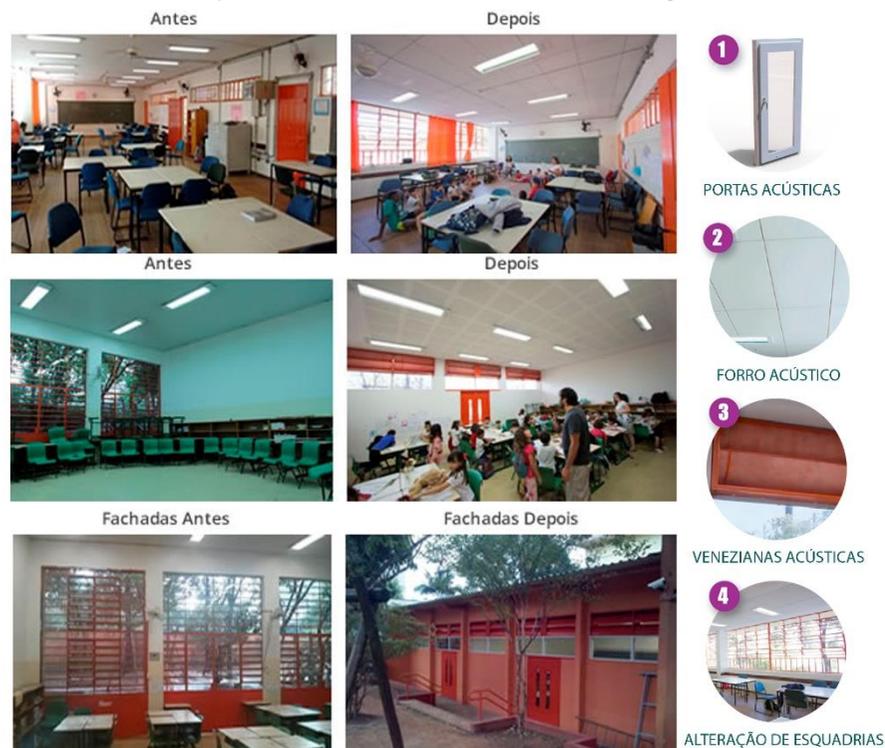
1. Identificação de empresas parceiras;
2. Definição de produtos fornecidos de acordo com o Projeto Executivo;
3. Medições acústicas anteriores à obra;
4. Coleta de depoimentos de alunos e professores;
5. Instalação de novos produtos;
6. Medições acústicas após as intervenções.

O foco das intervenções foi a redução da reverberação e isolamento dos ruídos externos. Segundo Gilberto Fuchs, presidente do Conselho da ProAcústica, após as intervenções ocorreram redução média de 40% do tempo de reverberação.

As intervenções foram diferentes em cada sala. Nas salas do primeiro ano, ocorreram troca de janelas, alterações na fachada, instalação de venezianas acústicas e instalação de uma porta acústica. Nas demais salas foram instalados diferentes forros acústicos.

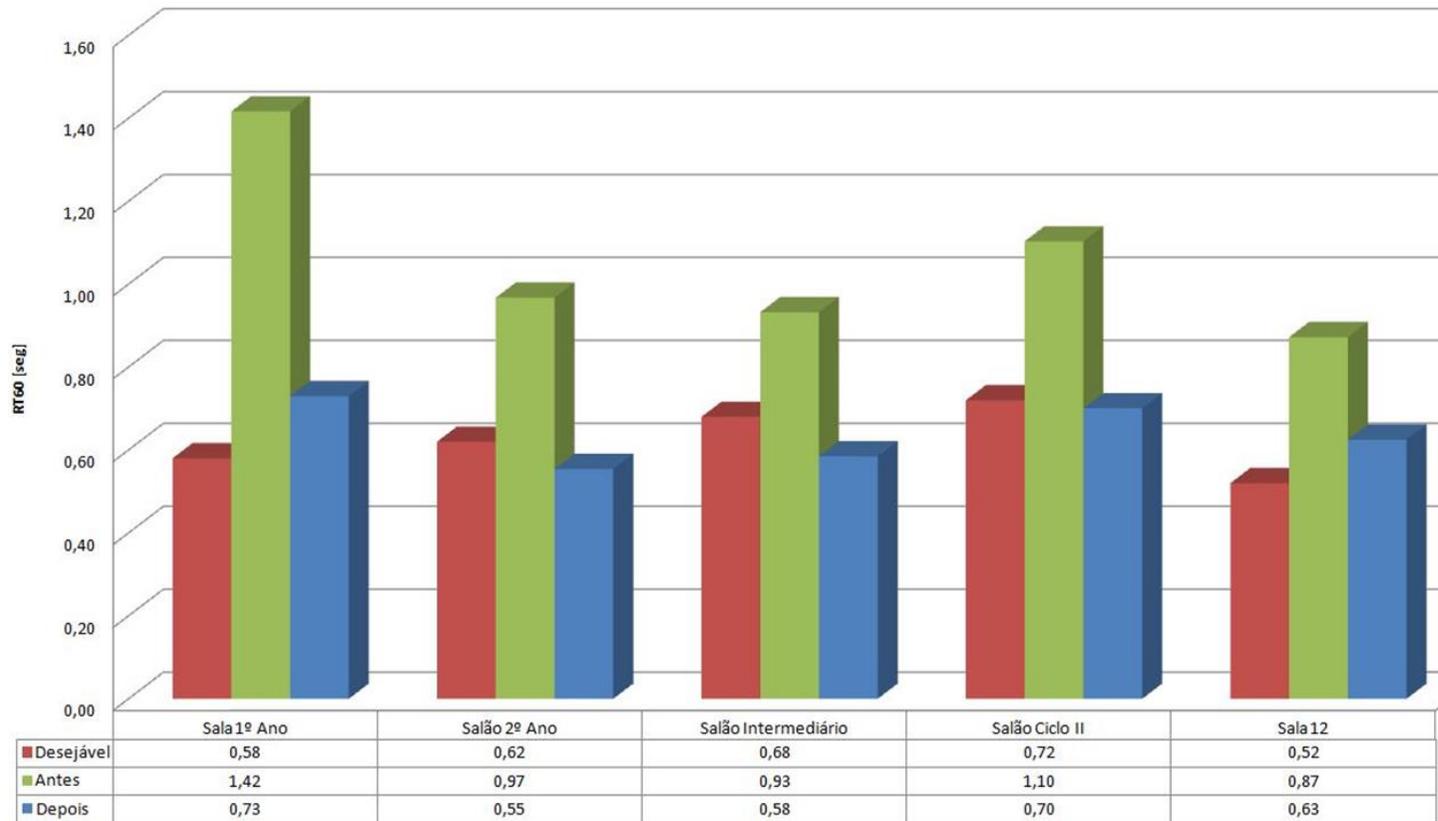
Observando o Gráfico 02 percebe-se que o Tempo de Reverberação ideal não foi atingido em todas as salas, mas em todas elas ocorreram redução considerável do mesmo. Apenas poucas mudanças em ambientes são capazes de melhorar a qualidade acústica da sala de aula (Figura 19), um dos objetivos do presente estudo foi mostrar que pequenas soluções podem tornar o ambiente de aprendizado mais confortável.

Figura 19 – Modificações realizadas na Escola Desembargador Amorim Lima



Fonte: Associação ProAcústica (2019), modificado pela autora.

Gráfico 02 - Tempo de Reverberação nas salas da Escola Desembargador Amorim Lima

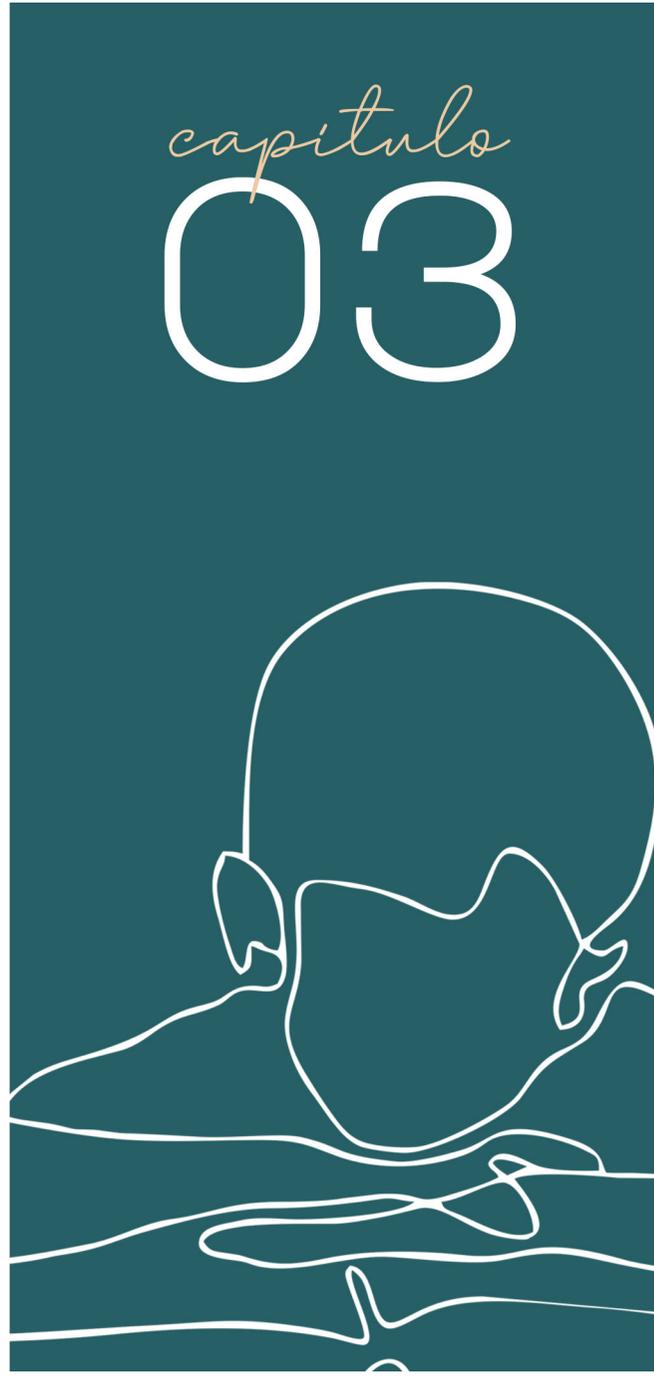


Fonte: Associação ProAcústica (2019)

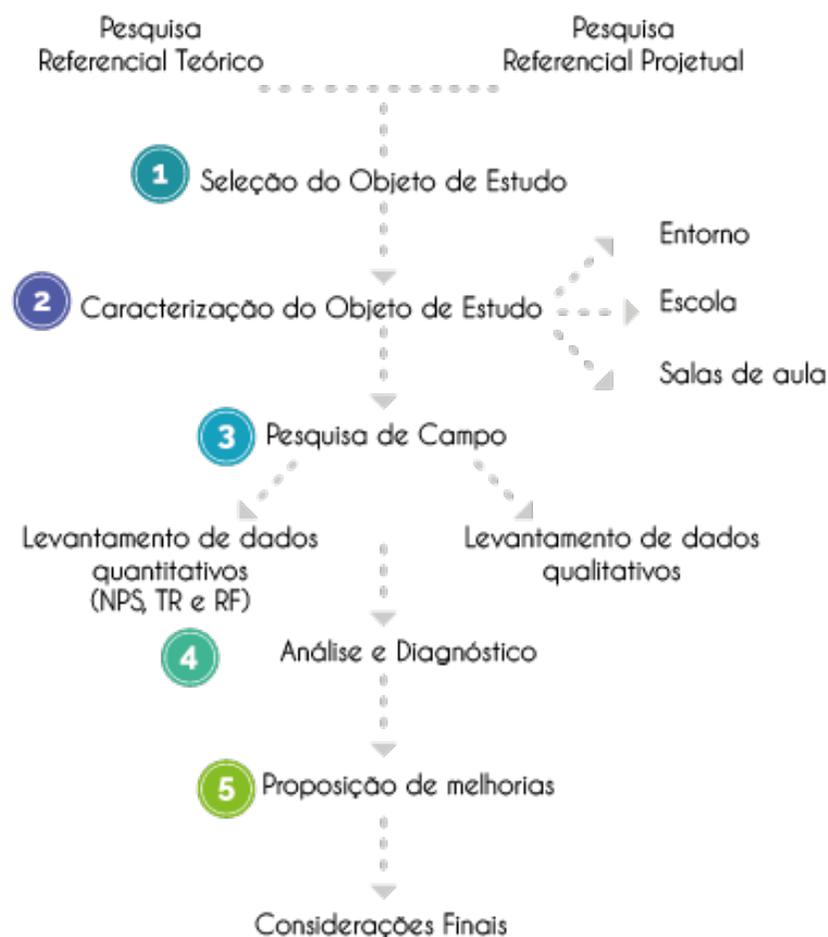
Os projetos referenciais utilizados adotam estratégias acústicas diferentes em termos econômicos, a escolha dos mesmos serviu para mostrar que ambas estratégias atendem ao conforto acústico em salas de aula mesmo com suas diferenças. Na Escola Erich Walter Heine, medidas como aumentar a espessura da parede, utilizar vidros e portas mais espessas são menos viáveis economicamente, mas atingiram o nível ideal de NPS, já na Escola Amorim Lima, em algumas salas apenas a troca do forro atingiu o TR ótimo. Para a atual pesquisa, foi aproveitada a percepção que o forro, utilizados em ambos os projetos é um ponto pertinente e crucial para um bom projeto acústico, além de vedações adequadas.



# METODOLOGIA



As etapas da pesquisa são descritas neste capítulo de Metodologia. Após a pesquisa de referencial teórico e referencial projetual mostradas anteriormente, ocorreu a seleção do objeto de estudo e caracterização do objeto de estudo em suas diferentes escalas (entorno, escola e salas de aula). Posteriormente foi feita a pesquisa de campo, com o levantamento de dados quantitativos e o levantamento de dados qualitativos, para deste modo, ser realizada a análise e o diagnóstico de dados. Com o diagnóstico, realizou-se proposições de melhorias para salas de aula da escola em questão e, assim foram elaboradas as considerações finais. Todas essas etapas são descritas detalhadamente a seguir.



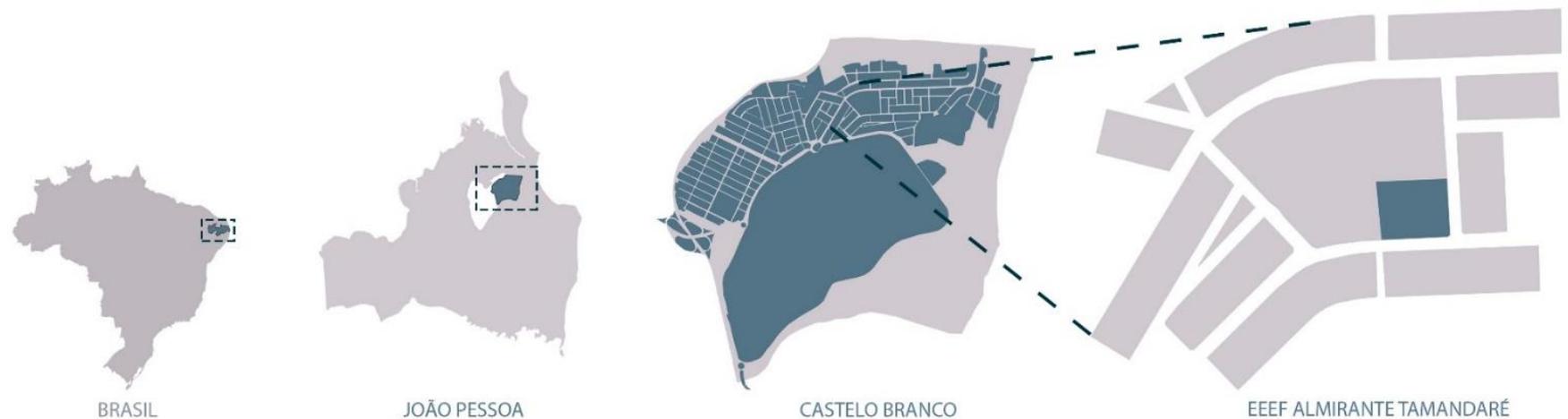
## 1. Seleção e Caracterização do Objeto de Estudo

Na presente pesquisa, trabalhou-se com a rede Estadual por apresentar padronização nas edificações, o que pode servir de modelo de estudo para as demais unidades da rede em todo o estado da Paraíba. De acordo com o QEdu, plataforma eletrônica que reúne informações detalhadas sobre cada escola do Brasil (Acesso em: Outubro de 2019), a cidade de João Pessoa apresenta atualmente cerca de 540 escolas, entre estas 146 são da rede Estadual.

Desta forma, escolheu-se o bairro do Castelo Branco (localização da escola mostrada na Figura 20), visto que o mesmo apresenta 12 escolas. Além do mais, o bairro Castelo Branco já está mapeado acusticamente por Brasileiro (2017), e é contornado pela BR 230, possuindo diversas avenidas de fluxo intenso, fatores que podem provocar o aumento do nível da pressão sonora, gerando desconforto acústico. Outro fator da escolha foi devido ao fato que dados da Divisão de Fiscalização da Semam (Secretária do Meio Ambiente) mostram que no ano de 2019, entre as denúncias feitas, 65% são referentes à poluição sonora e o local com mais reclamações é a Zona Sul, zona de inserção do bairro.

Para se entender melhor a qualidade acústica de um determinado ambiente, o ideal é proceder uma análise do exterior e do interior do mesmo, analisando a parte urbana, o isolamento e o condicionamento acústico. Então, a presente pesquisa foi dividida da análise macro para a micro, analisando o entorno, a escola e por fim as salas de aulas.

Figura 20 - Localização da E.E.E.F Almirante Tamandaré



## 2. Caracterização do Entorno

O bairro do Castelo Branco foi destinado a construção de conjuntos habitacionais, inaugurado em 1968. Dividido em três partes, segundo o loteamento da CEHAP. A escola estudada está localizada no Castelo Branco I, mais especificamente na Avenida Comandante Matos Cardoso, de tráfego intenso, que conecta a Zona Sul com a principal avenida da cidade, a Epitácio Pessoa, no lote da praça Abdom Milanez, como mostra a Figura 21. O entorno é composto por residências, comércios, tais como bar, mercado, lojas de construção, lojas de ferragens, unidade de saúde, entre outros, mostrado no mapa de usos do solo, na Figura 22.

Figura 21 - Esquema de visualização do entorno da E.E.E.F. Almirante Tamandaré



1  
Fachada Sul -  
Av. C. Matos Cardoso



2  
Vista da rua da  
Fachada Leste



3  
Vista da USF



4  
Vista da loja  
de ferragens

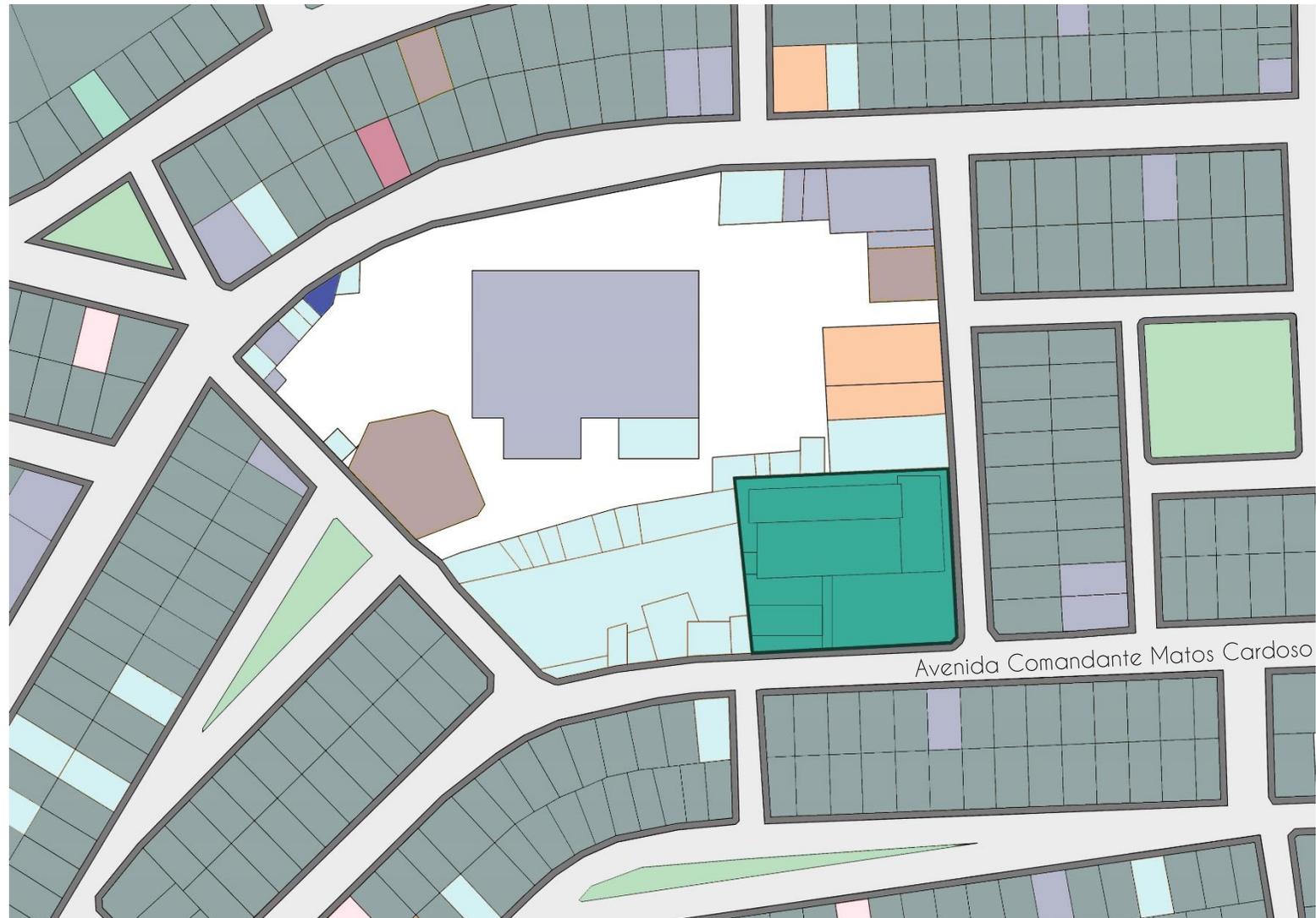


5  
Vista das lojas de  
construção



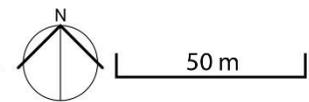
6  
Vista das lojas  
comerciais

Figura 22 - Mapa de usos do solo do loteamento da E.E.E.F. Almirante Tamandaré



LEGENDA

- |          |             |           |               |               |            |
|----------|-------------|-----------|---------------|---------------|------------|
| SERVIÇOS | MISTO       | COMERCIAL | INSTITUCIONAL | FUND., ASSOC. | INDUSTRIAL |
| TERRENOS | RESIDENCIAL | PRAÇAS    | VAZIO URB.    | TEMPLOS       | VIAS       |



### 3. Caracterização da Escola Estadual de Ensino Fundamental Almirante Tamandaré

A escola está locada em uma área predominantemente residencial, como pode-se analisar no Mapa de Usos do Solo (Figura 22). A área do terreno é de aproximadamente 3350 m<sup>2</sup>, com aproximadamente 1607 m<sup>2</sup> de área construída, mostrado na Tabela 03. A instituição é destinada apenas para ensino fundamental, do sexto ao nono ano, com 133 alunos, 16 professores e 17 funcionários.

Situada no pavimento térreo (Figuras 23, 24, 25 e 26) é dividida em três blocos, o primeiro bloco, próximo ao acesso de pedestres, compõe do almoxarifado, duas salas multiusos e de banheiros; o segundo bloco, o bloco principal, está distante da avenida principal, e compõe-se da parte administrativa, de serviços, duas salas de aula e a sala de informática; o terceiro bloco, próximo à fachada norte é composto apenas de cinco salas de aulas e banheiros (Figura 27). A escola possui também ampla área externa, composta da quadra poliesportiva, além da parte sem uso atual, composto apenas de solo arenoso e densa massa vegetativa.

Tabela 03 - Ficha Técnica E.E.E.F. Almirante Tamandaré

Ficha Técnica EEEF Almirante Tamandaré	
Área do Terreno	3350,65 m <sup>2</sup>
Área Construída	1607,2 m <sup>2</sup>
Vedos	Alvenaria de tijolo cerâmico de furos rebocada
Vegetação	Vegetação densa próxima a Fachada Sul
Esquadrias	Cobogós e Janelas de madeira
Piso	Granilite
Acabamento Parede	Pintura com tema Mondrian na área externa
Cobertura	Laje sob telhas tipo canal



Figuras 23, 24, 25 e 26 - Fachadas Internas da E.E.E.F. Almirante Tamandaré

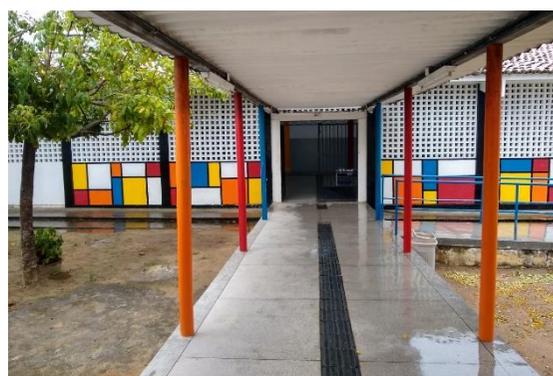
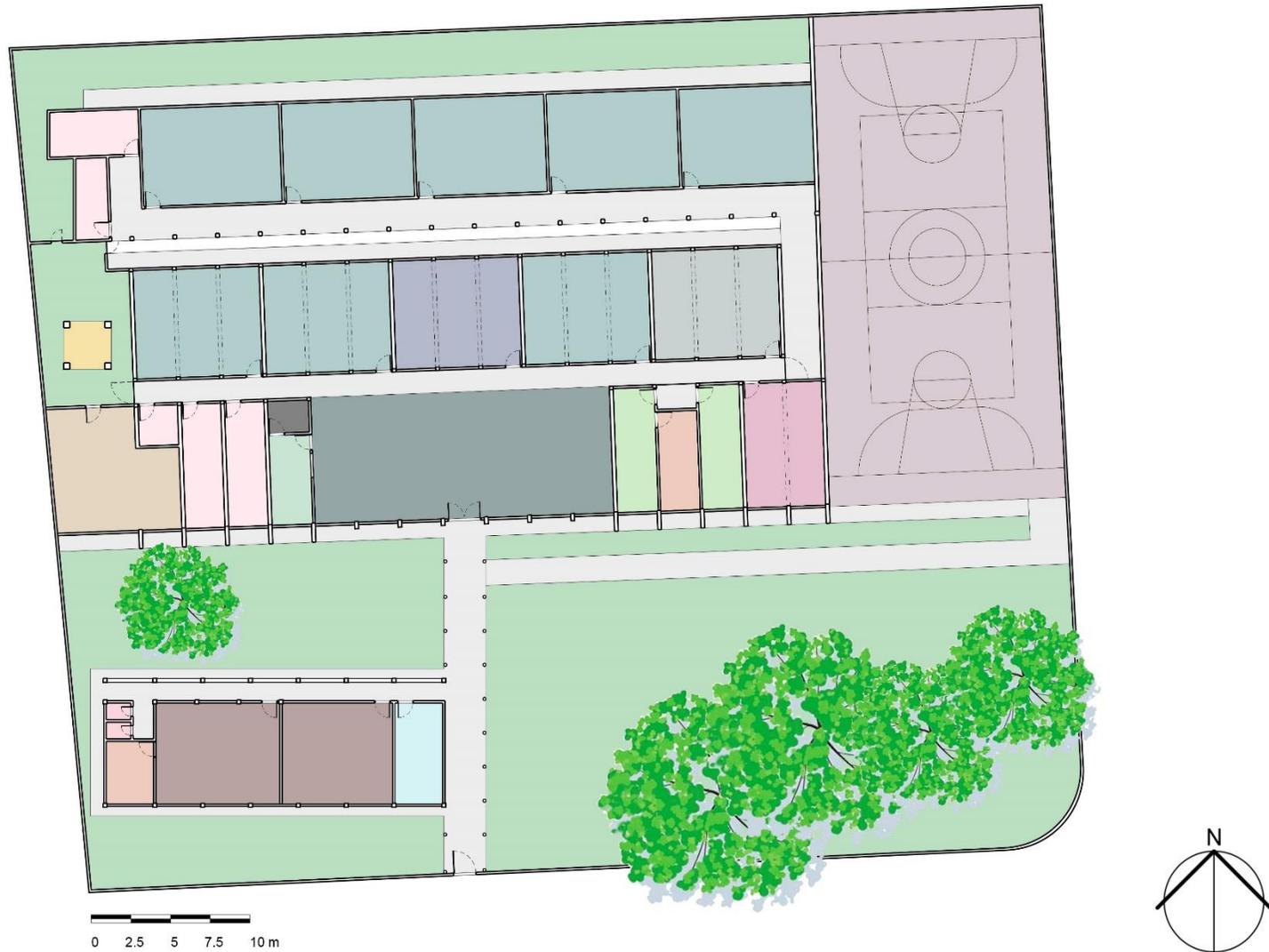


Figura 27 - Mapa de setorização da E.E.E.F. Almirante Tamandaré



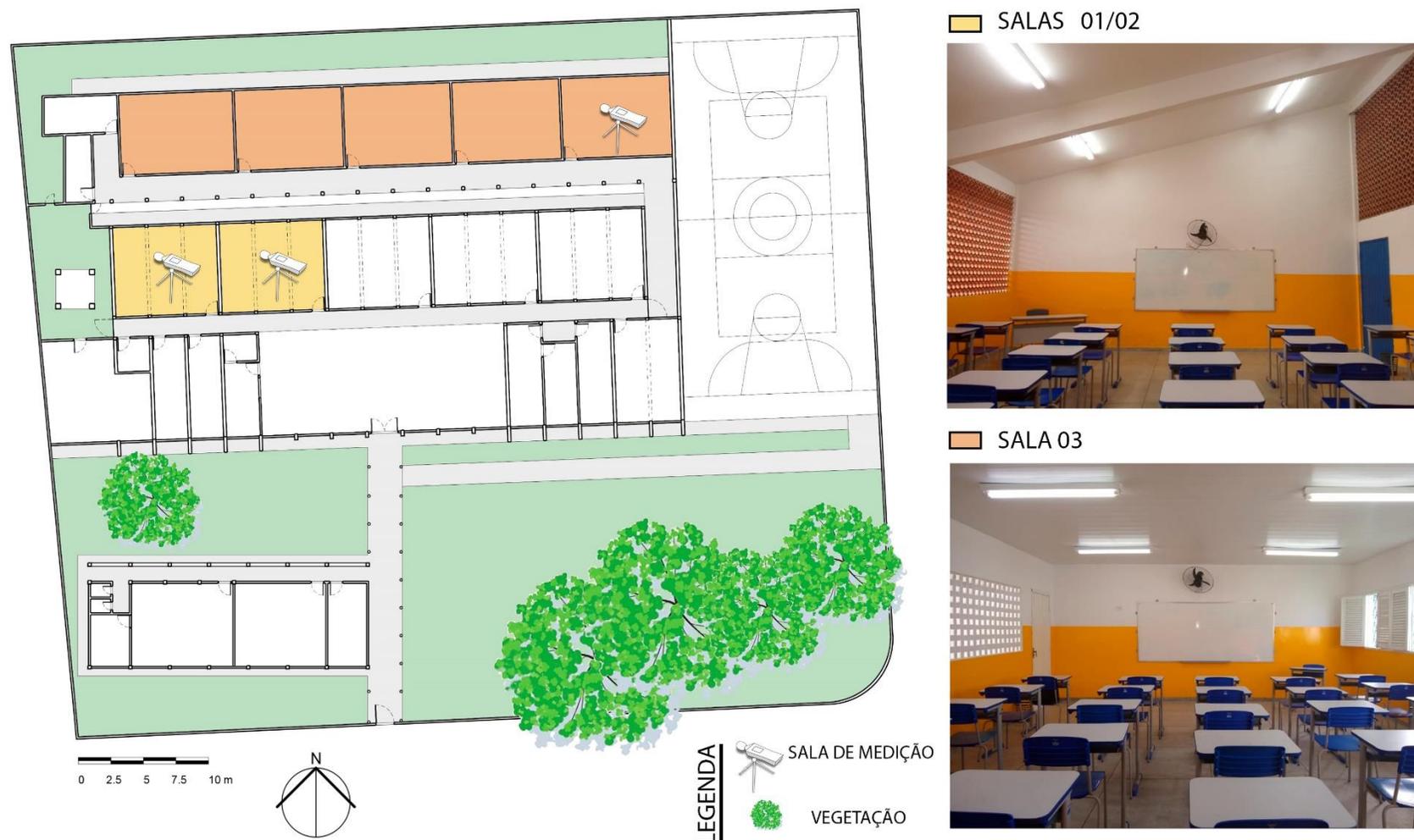
LEGENDA

ALMOXARIFADO	BANHEIROS	COZINHA	SECRETÁRIA	BIBLIOTECA	APOIO	A. EXTERNA
SALA MULTI.	PÁTIO	SALAS DE AULA	DIRETORIA	SALA PROF.	QUADRA	CIRCULAÇÃO
DÉPOSITO	CAIXA D'ÁGUA					

## 4. Caracterização das Salas de Aulas

A escola apresenta ao total de sete salas de aulas convencionais, duas salas multiusos (usadas para eventuais apresentações) e uma sala de informática. As salas de aulas convencionais dividem-se em duas tipologias. Para as medições foram escolhidas três salas, a escolha inicial seria uma sala de cada tipologia a fim de comparações, mas em uma tipologia existia uma diferença considerável na quantidade de alunos, resolvendo-se escolher duas dessa mesma, como localizadas na Figura 28, a seguir:

Figura 28 - Mapa de localização das salas medidas e respectivas fotos



## Salas de Aulas 01 e 02

As salas de aula 01 e 02 (Figura 29) são salas destinadas ao oitavo e nono ano, respectivamente, possuem a mesma tipologia. A escolha delas para as medições ocorreu devido a diferença da quantidade de alunos: o oitavo ano apresenta 12 alunos e o nono ano apresenta 25 alunos, então resolveu-se medir as duas salas a fim de comparações. Estas salas (Figura 31 e 32) possuem área de aproximadamente 53 m<sup>2</sup>, com teto inclinado, com o pé direito maior por volta de 5 m, e pé direito menor com aproximadamente 3,2m, seu volume é de 222,73 m<sup>3</sup>. As Plantas Baixas em maior escala dessas salas encontram-se no Apêndice desta pesquisa.

Figura 29 - Esquema de materiais das salas 01 e 02



## Sala de Aula 03

A sala de aula 03 é a sala destinada aos alunos do sexto ano, com o número de 25 alunos. Diferentemente da tipologia anterior, esta sala possui área de aproximadamente 50 m<sup>2</sup>, com pé direito único de 2,72m, e volume de cerca de 132 m<sup>3</sup> (Figura 33 e 34). Em comparação com a tipologia das salas 01 e 02, o volume da sala é bem menor, bem como seu pé direito. Em relação aos materiais, a diferença é o forro, que nesta é de PVC, e o cobogó, com material e medida diferente (Figura 30). A Planta Baixa em maior escala dessa sala encontra-se também no Apêndice desta pesquisa.

Figura 30 - Esquema de materiais da sala 03



Porta Madeira  
(0,9m x2,10m)



Janela Madeira  
(0,94m x2,43m)



Piso Granilite  
(1m x1m)



Lousa Branca  
(2,75m x1,20m)



Carteiras e  
Cadeiras



Estante de Livros  
(0,6x0,80x1,65m)



Forro PVC  
(8,06mx6,10m)



Cobogós (25x25)



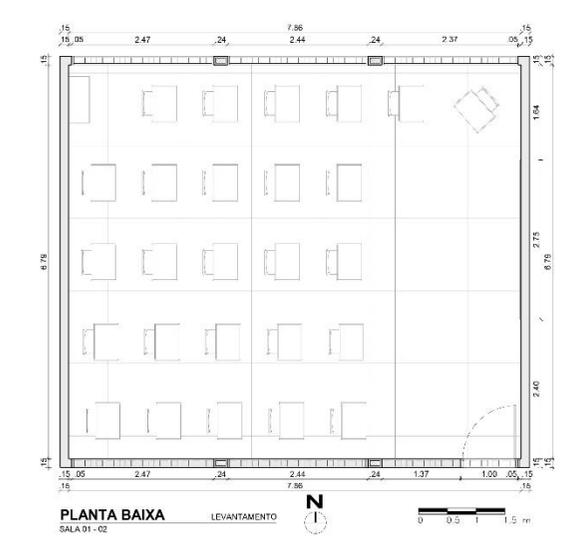


Figura 31 - Planta Baixa Sala 01 e 02

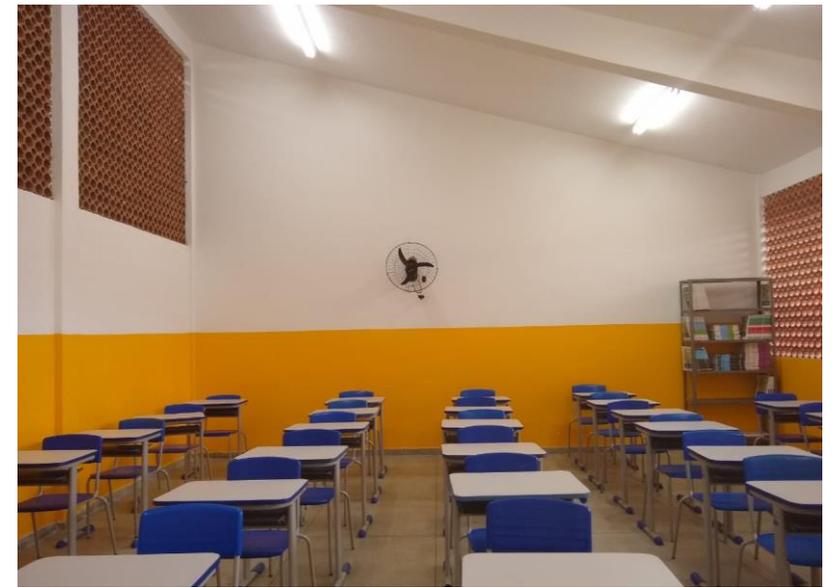


Figura 32 - Vista da Sala 01 e 02

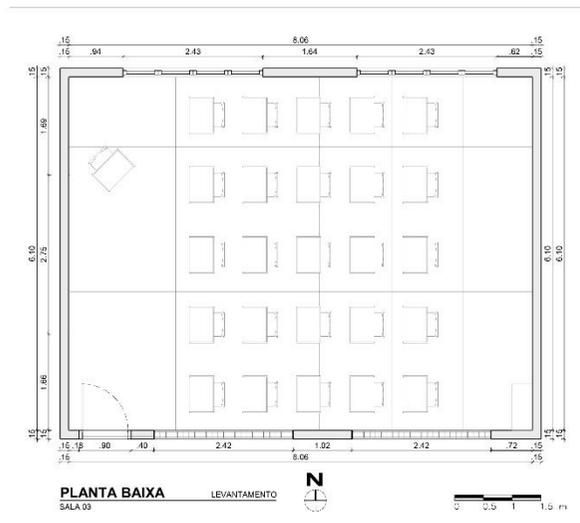


Figura 33 - Planta Baixa Sala 03



Figura 34 - Vista da Sala 03

## 5. Pesquisa de Campo

### Levantamento de dados quantitativos

Para a realização da pesquisa de campo três principais parâmetros quantitativos foram levantados no trabalho: Nível de Pressão Sonora (NPS), Tempo de Reverberação (TR) e Ruído de Fundo (RF). A análise consistiu em escala macro para micro, do entorno até dentro das salas de aulas. Para garantir os resultados que a pesquisa exige, levou-se em consideração todos cenários e situações possíveis. Para tal, algumas variáveis foram levadas em conta como área, volume, horários e as atividades que ocorrem ao longo das aulas. A metodologia e o passo a passo utilizados estão descritos a seguir, em relação a cada parâmetro adotado.

### Nível de Pressão Sonora (NPS)

Para a medição do NPS, foi utilizada a NBR 10.152 (2017) como referência, esta norma descreve os procedimentos para a medição do Nível de Pressão Sonora em ambientes internos a edificações, sendo um procedimento de medição na curva de ponderação A, em decibel e, em resposta de leitura rápida. A norma estabelece também os valores de referência para a análise dos resultados de acordo com a tipologia e uso de cada ambiente.

Na pesquisa, o NPS foi medido nas três salas de aula escolhidas e também no pátio, visto que, percebeu-se a necessidade de avaliar a interferência deste ambiente durante as aulas.

Segundo a NBR 10152 (2017):

- Os pontos de medição devem ser distribuídos de modo a possibilitar a representação do campo sonoro do ambiente em avaliação;
- As medições devem ser executadas em pelo menos três pontos de medição distribuídos pelo ambiente interno;
- Quando a área do ambiente a ser avaliado for superior a 30m<sup>2</sup>, recomenda-se aumentar um ponto a cada 30m<sup>2</sup> adicionais da área do ambiente;
- Os pontos devem se situar a pelo menos 1m das paredes, teto, piso, mobiliários e de elementos com significativa transmissão sonora, como janelas, portas ou entradas de ar
- A distância entre os pontos deve ser de pelo menos 0,7m;
- Quando não for possível assegurar as distâncias mínimas previstas, informar no relatório as condições executadas.

Deste modo, a escolha da localização dos pontos de medição foi influenciada pela geometria dos ambientes medidos, bem como o seu layout, variando em cada ambiente, em algumas salas o layout foi mudado para não alterar as medições

e seguir a norma. Nas salas de aulas, por estas possuírem área menor que 60m<sup>2</sup>, foram admitidos três pontos e no pátio foram admitidos quatro pontos de medição. Seguiu-se o recomendado pela norma, buscando garantir uma caracterização geral, afim de se obter um único valor de NPS em cada ambiente.

As medições do NPS foram realizadas com duração de 5 minutos em cada ponto, em três dias consecutivos: terça, quarta e quinta; durante os horários de aula. As medições não puderam ser realizadas simultaneamente devido a quantidade de um equipamento disponível, o intervalo entre elas foi de um minuto; tempo necessário apenas para locomoção do equipamento para o próximo ponto de medição. Deste modo o tempo total de medição foi cerca de 20 minutos em cada sala, e apenas uma pessoa necessária para realizar o procedimento. As plantas de pontos de medição de NPS estão localizadas no Apêndice desta pesquisa.

Figura 35, 36 e 37 -Equipamento de medição de NPS

O equipamento utilizado (Figura 35, 36 e 37) foi o medidor multifuncional da marca INSTRUTEMP, modelo ITMP-600, calibrado e sobre tripé a uma altura fixa de 1,20m.



O NPS global que caracteriza um ambiente é obtido pela média logarítmica dos Níveis de Pressão Sonora contínuos equivalentes globais,  $L_{Aeq}$ , ponderada em A, e deve ser calculado através da Equação 05 a seguir, segundo a NBR 10.152 (2017):

Equação 05

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}$$

Na qual:

n= número total de leituras

$L_i$ = Nível de Pressão Sonora lido durante a medição

## Tempo de Reverberação (TR)

O Tempo de Reverberação (TR) foi medido de duas formas, medições *in loco* e medições analíticas. As medições *in loco* foram realizadas inicialmente com o objetivo de calibrar os cálculos analíticos, realizados posteriormente. Para cada ambiente medido, o Tempo de Reverberação é considerado diferente, devido às características de cada um, principalmente o volume diferente.

### ▪ Medição *in loco*

Esta parte da pesquisa teve como objetivo registrar o TR das salas de aulas vazias, em sua condição mais reverberante, para que possa servir de calibração a simulação realizada. Estas medições foram realizadas em um dia, no turno da tarde, momento em que não há aula na escola, com a presença apenas de alguns funcionários.

As medições foram realizadas seguindo a ISO 16283-3, com referência à ISO 3382-2, onde foram escolhidos três pontos para receptores e duas posições para a fonte sonora em cada ambiente, de forma a caracterizar de forma geral o ambiente e englobar todo o campo sonoro, com o procedimento descrito abaixo:

- Demarcação no piso dos 3 pontos necessários para o posicionamento do analisador e dos 2 pontos para o posicionamento da fonte. Segundo preconizado na ISO 16283-3, os 3 pontos devem estar ao mínimo de 50 cm das paredes e não podem estar paralelos entre eles, esses pontos servem de posição para o analisador que foi fixado a 1,2m do chão. Para o posicionamento da fonte, os 2 pontos devem estar a pelo menos 70 cm das paredes e no mínimo a 1,4m entres eles, e a fonte deve estar a pelo menos 1m do chão.
- Posiciona-se a fonte no primeiro ponto, e emite-se um ruído do tipo branco, em conformidade com a ISO 16283-3, e posteriormente modifica-se a posição do analisador nos 3 pontos do ambiente. Em seguida, posiciona-se a fonte no segundo ponto e novamente o procedimento é realizado.

Foram realizadas um total de 18 medições de TR em todas as salas. Após isso, os valores das medições em cada frequência foram passados um a um para uma planilha do Excel e assim, é realizado média aritmética desses valores, a fim de obter valor geral que caracterize o ambiente. As plantas de pontos de medição de TR estão localizadas no Apêndice desta pesquisa.

As medições *in loco* do tempo de reverberação foram realizadas através de equipamentos profissionais, como mostrado na Figura 38:

Figura 38 – Equipamentos para medição deste trabalho



- 1) Analisador de ruído Brüel & Kjaer modelo 2270, e Calibrador de analisador Brüel & Kjaer
- 2) Fonte de ruído dodecaédrica omnidirecional Brüel & Kjaer
- 3) Amplificador para fonte de ruído Brüel & Kjaer

### ▪ Cálculo do Tempo de Reverberação

Para estimar o TR de um ambiente com base nos cálculos analíticos são necessários alguns procedimentos. Inicialmente fez-se levantamento físico de cada sala de aula. Depois, especificou-se todos os quantitativos e materiais que revestem o ambiente, utilizando o coeficiente de absorção de cada material também. As salas de aulas, como já mostrado, são bem parecidas em relação aos materiais, o que varia são, basicamente, o volume, as áreas de cada material e a quantidade de alunos.

O segundo passo consistiu na busca dos valores dos coeficientes de absorção de cada material na literatura. Assim, montou-se uma tabela juntando os tipos de materiais e suas respectivas áreas ou os tipos de elementos com suas quantidades e o coeficiente de absorção com sua fonte.

Após o preenchimento da planilha (Figura 39), os dados foram aplicados na fórmula de Sabine, já mostrada no capítulo de Referencial Teórico desta pesquisa, para encontrar o TR existente no ambiente. Preencheu-se a tabela do Excel, disponibilizada pelo professor Francisco Buarque de Holanda, na qual a fórmula está inserida.

Figura 39 - Exemplo de planilha de cálculo de tempo de reverberação

PLANILHA DE CÁLCULO TEMPO DE REVERBERAÇÃO																
MATERIAIS - PESSOAS - OBJETOS			ABSORÇÕES												Fonte:	
DESCRIÇÃO	Quant.	Áreas	a	A 125	a	A 250	a	A 500	a	A1000	a	A2000	a	A4000		
Material 01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	Fonte
Material 02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	Fonte
Material 03	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	Fonte
Material 04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	Fonte
Material 05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	Fonte
Material 05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	Fonte
<b>VOLUME (m³) =</b>	<b>100</b>	<b>S =</b>	<b>6,00</b>	<b>A=</b>	<b>6,00</b>	<b>A=</b>	<b>6,00</b>	<b>A=</b>	<b>6,00</b>	<b>A=</b>	<b>6,00</b>	<b>A=</b>	<b>6,00</b>	<b>A=</b>	<b>6,00</b>	
				$\bar{a}_{medio} =$	1,00	$\bar{a}_{medio} =$	1,00	$\bar{a}_{medio} =$	1,00	$\bar{a}_{medio} =$	1,00	$\bar{a}_{medio} =$	1,00	$\bar{a}_{medio} =$	1,00	
				<b>TR EXISTENTE SEM PESSOAS</b>	<b>Treal=</b>	2,68	<b>Treal=</b>	2,68								
				<b>TR Ótimo</b>	<b>Totimo=</b>	0,7	<b>Totimo=</b>	0,6	<b>Totimo=</b>	0,5	<b>Totimo=</b>	0,5	<b>Totimo=</b>	0,5	<b>Totimo=</b>	0,5

Assim obteve-se o Tempo de Reverberação de cada ambiente com base na fórmula de Sabine e foi comparado aos dados obtidos nas medições *in loco* e com o Tempo de Reverberação Ótimo de cada sala.

Como visto anteriormente, para determinar o Tempo de Reverberação Ótimo para cada sala, seguiu-se a Norma 12.179 (1992) com referência às salas de conferência. Para o objeto de estudo em questão, afere-se dois volumes, o de 131,54 m³ e o de 222,73 m³, que são os volumes dos dois tipos de salas de aulas existentes na escola.

Deste modo, os tempos de reverberação ótimos em análise foi de 0,5s e de 0,55s, para frequências de 500Hz a 4KHz. Segundo Marco (1986), para baixas frequências deve-se fazer uma correção no valor considerado ótimo multiplicando o valor do TR ótimo por 1,48 para frequência de 125Hz e por 1,14 para frequência de 250Hz, como mostrado na Tabela 04:

Tabela 04 - TR Ótimo para cada sala

Frequência	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1K Hz	2K Hz	4K Hz
<b>TR ÓTIMO Sala 01/02</b>	<b>0,81s</b>	<b>0,63s</b>	<b>0,55s</b>	<b>0,55s</b>	<b>0,55s</b>	<b>0,55s</b>
Frequência	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1K Hz	2K Hz	4K Hz
<b>TR ÓTIMO Sala 03</b>	<b>0,74s</b>	<b>0,57s</b>	<b>0,5s</b>	<b>0,5s</b>	<b>0,5s</b>	<b>0,5s</b>

## Ruído de Fundo (RF)

Já as medições de Ruído de Fundo foram realizadas segundo a ISO 16283-2, nas quais colocou-se o analisador na posição F2 (mesma posição da fonte nas medições de TR) de ambas as salas, permanecendo na mesma por cinco minutos, para a captação de todo ruído existente no interior do ambiente, na sua condição mais reverberante, ou seja quando não há atividades no mesmo.

## Levantamento de dados qualitativos

Para a realização desta pesquisa foram utilizados formulários para obter informações importantes a respeito da qualidade acústica da escola em geral e das salas de aulas. Segundo Rocha (2019) apud Lakatos (2003), o formulário é utilizado como um dos principais instrumentos de investigação social, sendo possível obter dados diretamente do entrevistado. Havendo o contato direto entre o pesquisador e entrevistado, podendo ser preenchido pelo entrevistador ou entrevistado. No formulário há a opção de não identificação do entrevistado.

Os formulários aplicados foram entregues aos entrevistados sendo preenchidos pelos mesmos, entre eles alunos, funcionários e professores, buscando abranger as opiniões de todos os usuários, dentro e fora de sala de aula. O mesmo foi desenvolvido com questões específicas para cada tipo de usuário, de modo a ser respondido rapidamente, com baixo grau de complexidade, com termos mais populares e sem a necessidade de identificação.

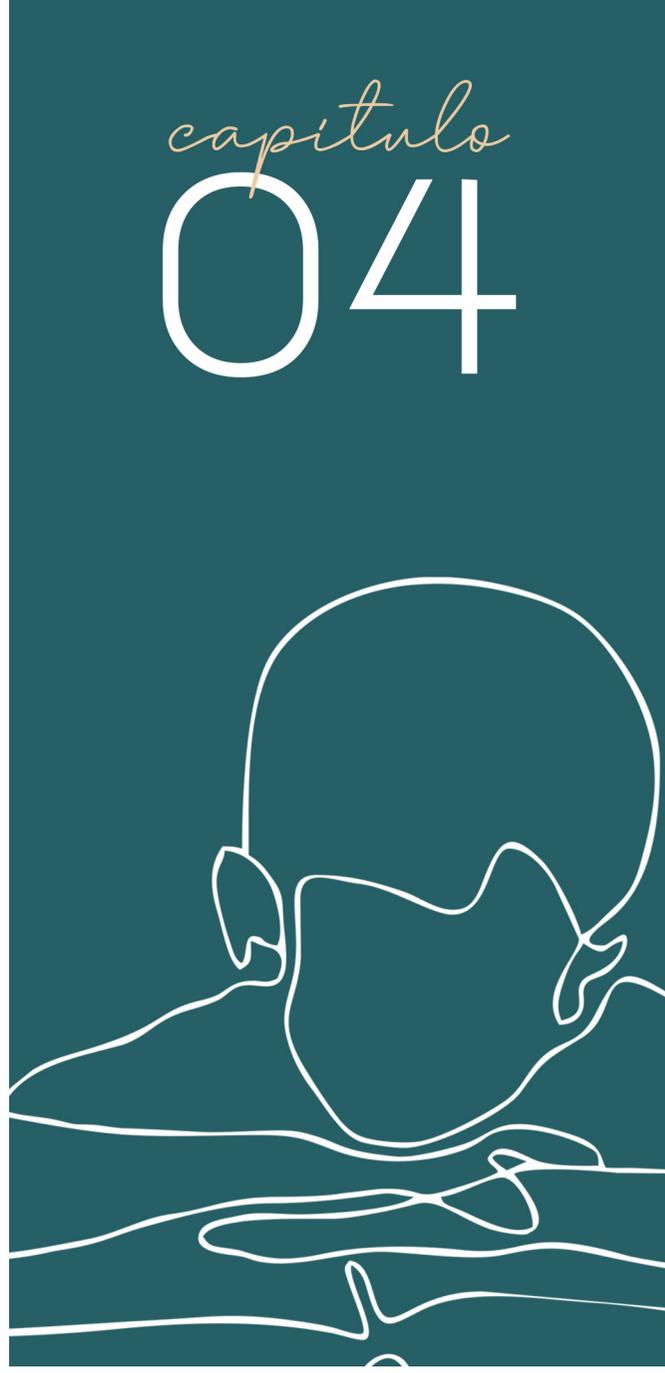
Em relação a amostra, os formulários foram aplicados a todos os usuários da escola, buscando chegar a diagnóstico mais acurado possível, não foi estabelecido um dia específico para a aplicação dos mesmos, pois foram aplicados de acordo com o horário livre de cada usuário.

Os modelos de formulários encontram-se no Apêndice desta pesquisa.





# ANÁLISE E RESULTADOS



## Análise e Diagnóstico de dados quantitativos

Neste capítulo da pesquisa são analisados e apresentados os dados resultantes, tanto da parte quantitativa, como Nível de Pressão Sonora, Tempo de Reverberação, Ruído de Fundo, como da parte qualitativa, referente aos resultados dos formulários aplicados. A análise foi feita também da parte macro para micro, ou seja, do entorno até as salas de aulas.

### ○ Entorno

Como já mostrado anteriormente, o entorno da escola (Figura 40) é composto basicamente por comércio e serviços, na sua parte Norte e Oeste, e residências na sua parte Sul e Leste.

Em primeira análise, considerou-se possíveis pontos de ruídos intensos, que seriam os locais de comércio e serviços, e a Avenida Comandante Matos Cardoso de fluxo intenso.

Os pontos de ruído moderado seriam a unidade de saúde e o centro espírita Nosso Lar (Oeste), por serem locais movimentados de atendimento.

E por último, os pontos de ruído leve, as áreas residenciais.

Figura 40 – Esquema de ruído no entorno da E.E.E.F. Almirante Tamandaré

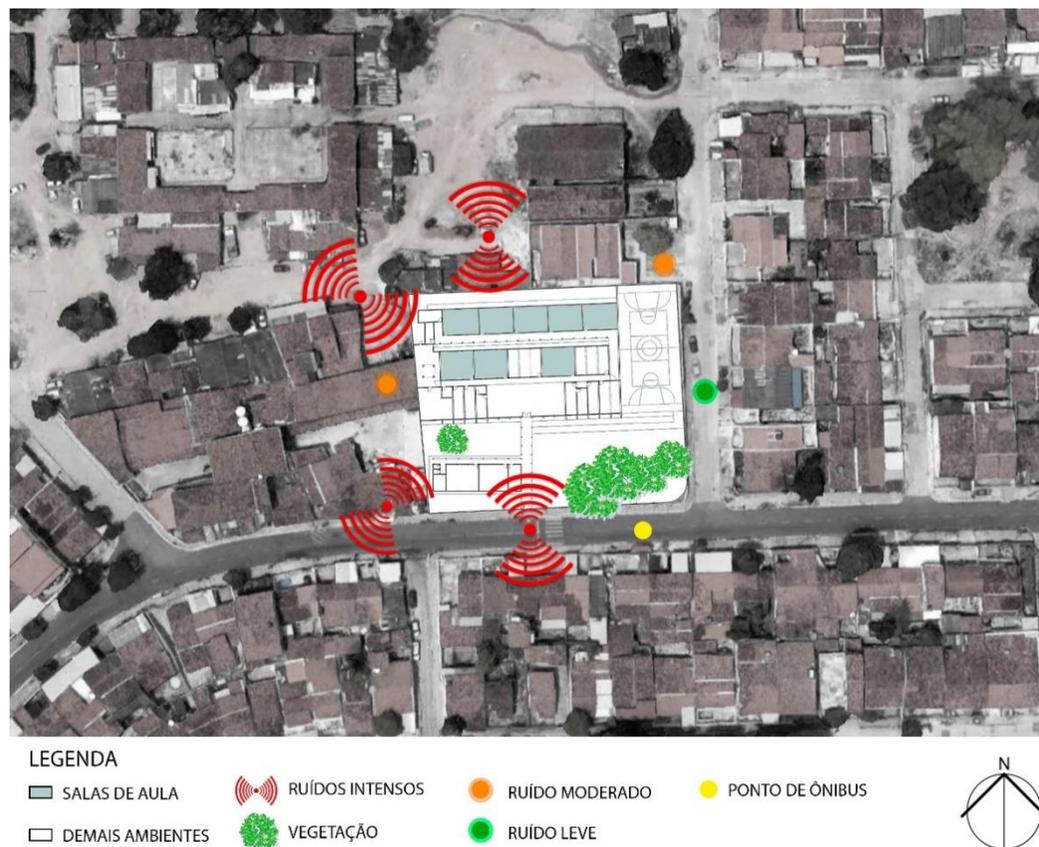


Figura 41 - Mapa de ruído de tráfego



Fonte: BRASILEIRO (2017)

Ao analisar o Mapa de ruído de Tráfego do Castelo Branco (Figura 41), percebeu-se que a parte da Avenida Comandante Matos Cardoso que coincide com o muro da Escola apresenta ruído moderado em torno de 65 a 70 decibels, e ao analisar a implantação da escola, percebe-se que os blocos foram locados mais na parte Norte do Terreno, então o impacto do tráfego de veículos na Escola e principalmente nas salas de aula não é tão elevado quanto se pensava.

A segunda hipótese para possível impacto sonoro do entorno na Escola seriam as edificações de comércio e serviços, assim para se averiguar isto, foi verificado o Nível de Pressão Sonora em alguns pontos no terreno da Escola, análise esta que está mostrada no próximo tópico.

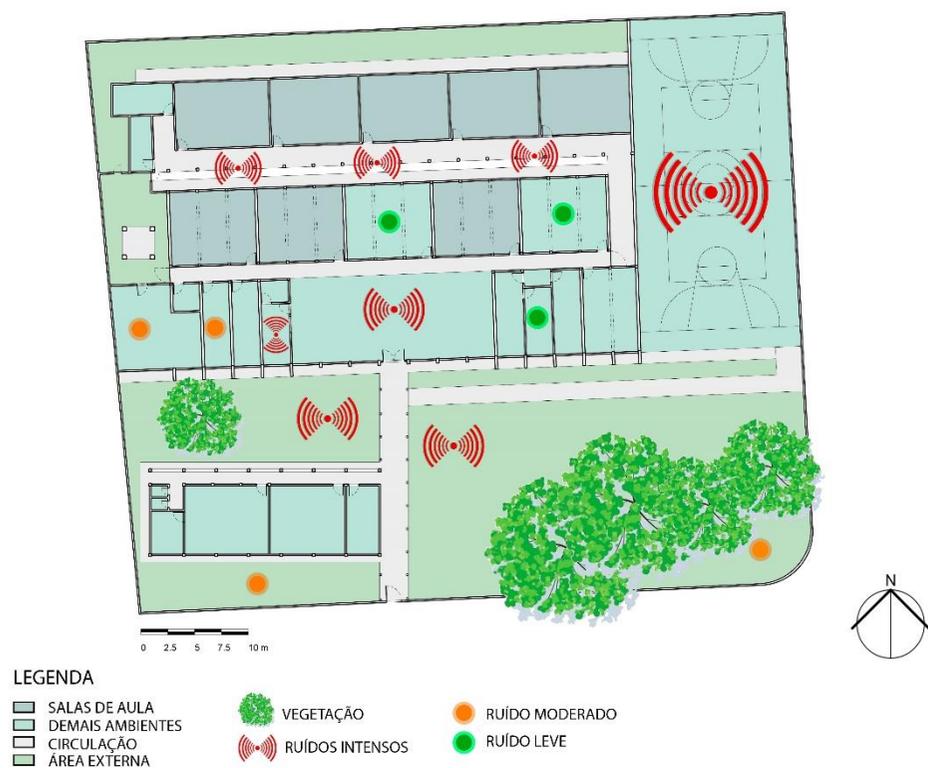
## A Escola Estadual de Ensino Fundamental Almirante Tamandaré

Para se analisar a Escola foram levados em conta: a implantação, ou seja, como a mesma está distribuída no lote e o Nível de Pressão Sonora de alguns pontos externos à edificação da Escola.

### ▪ Implantação

A configuração da implantação da Escola é um ponto positivo, visto que os principais blocos foram locados afastados da fachada principal, que está de encontro à avenida de fluxo intenso. As salas de aula do sexto e sétimo ano (terceiro bloco) estão melhor localizadas por estarem separadas da parte de serviços e administração da escola, neste aspecto as salas do oitavo e nono ano foram prejudicadas pela proximidade com o pátio e cozinha.

Figura 42 – Esquema de ruído interno da E.E.E.F. Almirante Tamandaré



Em relação ao ruído interno da Escola, mostrado na Figura 42, foram considerados como ruído intenso: a quadra poliesportiva (em momentos de aulas e intervalo); o pátio, por ser o local de permanência de alunos durante o intervalo e de funcionários durante as aulas; a cozinha, por estar sempre em funcionamento; além da área externa durante intervalos.

Os banheiros e o apoio foram considerados de ruído moderados e, as áreas administrativas e biblioteca foram consideradas locais de ruído leve, devido ao baixo fluxo de pessoas e atividades silenciosas.

## ▪ Nível de Pressão Sonora em pontos externos

Para o diagnóstico do impacto sonoro externo na Escola, foram escolhidos sete pontos de medição, mostrados na Figura 43. As medições ocorreram no período da tarde, com apenas uma aula de reforço ocorrendo no momento, para verificar apenas o Nível de Pressão Sonora Externo, sem a maior interferência de alunos. Nas medições, o analisador permaneceu por 10 minutos em cada ponto e a cada 10 segundos foi anotado o valor, em decibels, e depois os valores foram passados à planilha.

Para a escolha dos pontos, seguiu-se a NBR 10.151 (2019):

- Distância do ponto de medição externa à fachada de pelo menos 1m e analisador a 1,2m do solo
- Assegurou-se que o microfone não sofreu vibrações durante a medição;

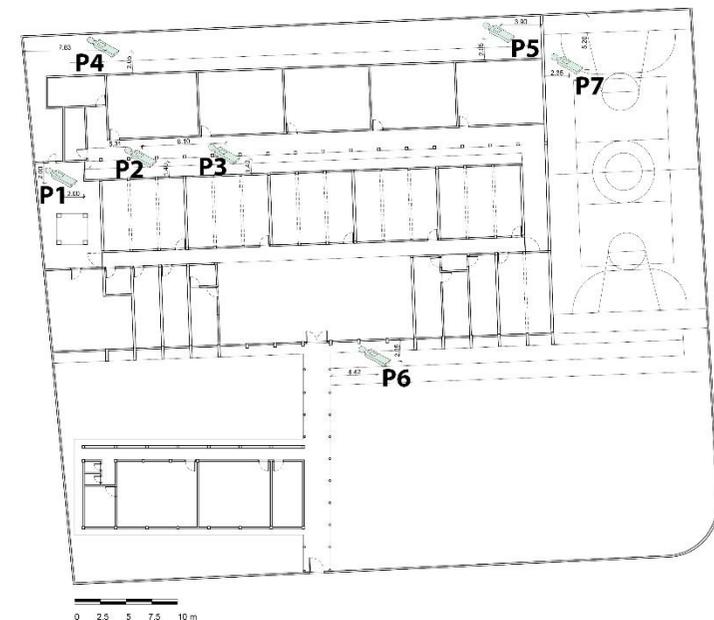
Segundo a norma (NBR 10.151) o limite de Nível de Pressão Sonora para Área mista predominantemente residencial é de 55 dB no período diurno. A maioria dos pontos estão então no nível aceitável, como mostra o Gráfico 03, com exceção do Ponto 02 e Ponto 03, que já era esperado devido à interferência da aula de reforço que ocorreu próximo aos pontos.

Gráfico 03 - Resultado das medições dos pontos externos



Com essa medição pode-se comprovar que o ruído externo não é o principal responsável pelo ruído recorrente na Escola, a partir disto, buscou-se analisar a escola internamente.

Figura 43 - Esquema de pontos de medições externo



## As Salas de Aula

Após a análise do entorno e da edificação escolar, procurou-se analisar o ambiente interno, mais especificamente as salas de aula através das medições do Tempo de Reverberação, do Nível de Pressão Sonora e do Ruído de Fundo.

### ▪ Nível de Pressão Sonora (NPS)

De acordo com a NBR 10.152 (2017), para a realização da avaliação sonora do ambiente busca-se realizar uma comparação dos níveis de pressão sonora representativos com os valores de referência indicados pela norma, que no caso para Salas de Aulas são de 35 dB(A), não podendo ultrapassar 40dB. As tabelas detalhadas do Nível de Pressão Sonora de cada ponto encontram-se no Apêndice desta pesquisa.

Obtidos os valores de Leq em cada ponto, foi calculado o Leq geral relativo dos pontos, com o objetivo de se possuir valor representativo para cada dia de medição em cada sala de aula. Ao final foram obtidos total de 9 valores para cada sala de aula, ou seja, 27 valores ao total.

Tabela 05 - Resultado das medições de NPS da sala 01

SALA 01	Leq de cada ponto (dBA)			
	P1	P2	P3	Leq Geral
Terça	<b>75</b>	<b>71</b>	<b>69</b>	<b>71,67</b>
Quarta	<b>69</b>	<b>67</b>	<b>69</b>	<b>68,33</b>
Quinta	<b>75</b>	<b>70</b>	<b>71</b>	<b>72</b>

Tabela 06 - Resultado das medições de NPS da sala 02

SALA 02	Leq de cada ponto (dBA)			
	P1	P2	P3	Leq Geral
Terça	<b>78</b>	<b>76</b>	<b>78</b>	<b>77,33</b>
Quarta	<b>82</b>	<b>80</b>	<b>83</b>	<b>81,67</b>
Quinta	<b>81</b>	<b>78</b>	<b>80</b>	<b>79,67</b>

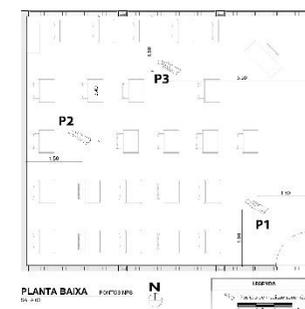
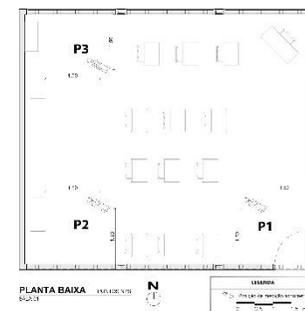


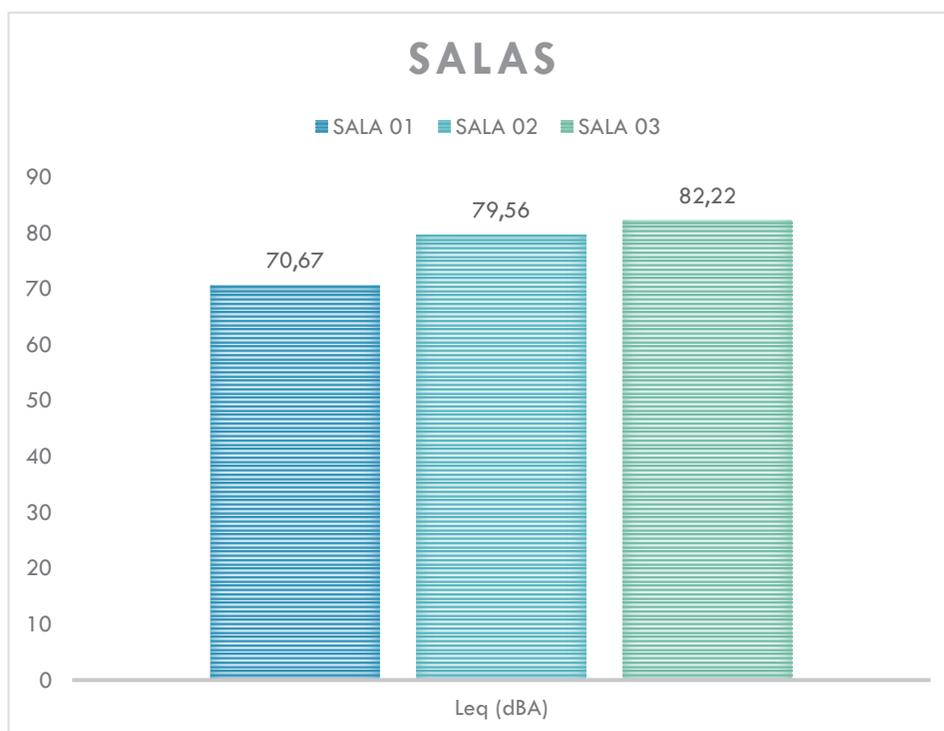
Tabela 07 - Resultado das medições de NPS da sala 03

SALA 03	Leq de cada ponto (dBA)			
	P1	P2	P3	Leq Geral
Terça	82	76	77	78,33
Quarta	82	81	83	82
Quinta	86	86	87	86,33



Sendo assim, as Tabelas 05, 06 e 07 mostram a média dos valores obtidos nos três dias para cada sala. Como pode-se observar, todos os valores obtidos pelas medições estão muito acima do valor indicado pela NBR 10.152 (2017), de 35 dB, então nenhuma sala de aula está de acordo com a norma.

Gráfico 04 - Resultados das medições de NPS das salas



Conforme os resultados obtidos, sintetizados no Gráfico 04, pode-se concluir também que as salas de aulas não respeitam a Organização Mundial da Saúde que preconiza que o nível máximo de ruído admissível deve ser de 65 dB, para qualquer ambiente, podendo causar estresse e aumento do risco de doenças tais como: depressão, AVC, arritmia, perda de memória, entre outras. A OMS diz também que acima de 85 dB pode haver comprometimento auditivo, sendo que a Sala 03 ultrapassa esse valor em alguns pontos, e sua média está bem próxima a esse valor, sendo considerada a sala de aula mais crítica.

A sala de aula menos crítica ainda possui o valor de acima do dobro permitido pela norma, tornando a situação da Escola bem grave quanto à qualidade acústica.

Outra medição de Nível de Pressão Sonora realizada foi no pátio da escola, pois, em alguns momentos, algumas salas estão em aula e outras em intervalo. Para verificar o impacto desses momentos na sala de aula, devido ao fato das salas apresentarem grande área de elementos vazados voltados para o pátio, foram realizadas medições no mesmo.

Tabela 08 - Exemplo de planilha do NPS de cada ponto do pátio

Nível de pressão sonora no Pátio				
Terça 9:00 h				
Intervalo de tempo (s)	Nível de pressão sonora (dBA)			
	P1	P2	P3	P4
10	76,9	85,2	77,8	80,2
20	83,8	80,7	78,1	84,7
30	80,5	77,4	80	82,1
40	79,7	81,8	81	88,9
50	82,4	72,2	78,2	79,5
60	77,6	75,5	81,9	81,8
70	85,7	79,3	78,4	83,5
80	78,8	79,1	81,1	82,3
90	84,3	83,9	81,8	81,4
100	82,9	83,3	78,5	76,2
110	77,7	78,1	84,9	77,3
120	75,8	86,1	79,4	73,7
130	79,9	73,9	79,8	80,9
140	79,5	81,6	76,2	79,8
150	74,3	76,5	86,1	77,8
160	73,4	76,2	78	81,3
170	77,8	82,1	88,3	75,3
180	76,8	88,9	78,7	81,7
190	82,2	92,1	84,1	75,9
200	76,3	73,7	80,3	89,5
210	74,5	75,2	79,3	75,5
220	80,2	77	74,3	76,2
230	78,7	76,7	77,5	75,6
240	86	77,1	78,7	76,9
250	80,2	74,1	77,5	78,5
260	78,7	76,6	79,1	79,8
270	77,4	75,7	81,7	83,5
280	76	79,5	84,8	87,7
290	76,1	75	86,1	85,3
300	77,9	79,1	83,1	82,5
<b>Leq (dBA)</b>	80	82	82	83
<b>Leq (dBA)</b>	<b>81,75</b>			

Com as medições, verificou-se que o Leq do pátio (Tabela 08) no momento de aula na Sala 02 (que tem contato direto com o mesmo) foi cerca de 81,75 dB(A), valor muito alto conforme a NBR 10.152 (2017) que permite para circulações o máximo de 55 dB, e que o isolamento entre pátio e sala de aula possui grande área de escape de som, por volta de 45% é de elemento vazado.

## ▪ Tempo de Reverberação (TR)

Os resultados das medições *in loco* e os cálculos analíticos serão apresentados a seguir:

### ▪ Medição *in loco*

Para as medições de TR foram realizadas 6 medições em cada sala. Totalizando então 18 medições. Como já mostrado na metodologia desta pesquisa, em cada sala foram escolhidos três pontos para análise e dois pontos de fonte. Posteriormente, os valores foram passados para uma planilha do Excel, e foi realizada média aritmética dos valores de TR para cada frequência, a fim de se obter valor representativo para o ambiente em sua totalidade.

Tabela 09 - Resultados do TR de cada sala

TEMPO DE REVERBERAÇÃO	Frequências					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1K Hz	2K Hz	4K Hz
Sala 01	3,7s	3,9s	2,9s	3,8s	3,3s	2,7s
Sala 02	3,9s	4,0s	3,1s	4,0s	3,4s	2,9s
Sala 03	3,3s	2,8s	2,2s	3,0s	3,2s	2,5s

Analisando os resultados do TR de cada sala (Tabela 09), percebe-se que as Salas 01 e 02, com mesma tipologia, apresentam o número de cadeiras diferentes, o que é responsável por essa diferença mínima no tempo de reverberação entre elas, e em comparação com a sala 03, esta possui menor tempo de reverberação, devido ao fator de seu volume ser menor, além da área dos materiais e os próprios materiais serem diferentes. Cabe ressaltar, que as medições foram realizadas no período da tarde, sem a presença de alunos e aulas, ou seja, as salas estavam na sua condição mais reverberante. As planilhas completas estão disponibilizadas no Apêndice deste trabalho.

### ▪ Cálculos Analíticos

Para a realização dos cálculos analíticos, os passos consistiram no levantamento dos materiais que revestem todas as superfícies das salas, além do levantamento do mobiliário, piso, forro e planta baixa de cada uma delas. A fim de quantificar as áreas e preencher a planilha com os coeficientes de absorção respectivos de cada elemento. A planilha foi previamente ajustada com a equação de Sabine, já mostrada na metodologia. Assim os valores de TR em cada frequência foram gerados automaticamente. Deste modo, ocorreu comparação entre os valores obtidos nas medições, com os valores gerados na planilha.

Tabela 10 - Comparação entre TR medido e calculado da sala de aula 01

Frequência	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1K Hz	2K Hz	4K Hz
TR Medido	3,7s	3,9s	2,9s	3,8s	3,3s	2,7s
TR Calculado	6,34s	4,41s	3,04s	3,18s	3,04s	3,09s

Tabela 11 - Comparação entre TR medido e calculado da sala de aula 02

Frequência	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1K Hz	2K Hz	4K Hz
TR Medido	3,9s	4,0s	3,1s	4,0s	3,4s	2,9s
TR Calculado	5,85s	4,30s	2,91s	3,07s	2,89s	2,92s

Tabela 12 - Comparação entre TR medido e calculado da sala de aula 03

Frequência	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1K Hz	2K Hz	4K Hz
TR Medido	3,3s	2,8s	2,2s	3,0s	3,2s	2,5s
TR Calculado	2,88s	3,12s	2,67s	2,57s	2,20s	2,20s

Analisando os resultados (Tabelas 10, 11 e 12), percebeu-se que nas Sala 01 e 02, houve diferença elevada no TR medido e no TR calculado, em baixas frequências (125 Hz), o que já era esperado pois, as salas possuem área muito grande de cobogós, favorecendo o escape do ruído, inclusive o equipamento apresentou erro nessas frequências. Na Sala 02, houve também diferença de resultado na frequência de 1K Hz, justificado por interferência no dia de medição. Já na Sala 03, observou-se discrepância na frequência de 250 Hz, justificadas por interferências no dia de medição, ou até mesmo por erro do equipamento. As demais frequências medidas apresentam valores muito próximos, sendo assim, os valores encontrados pelo cálculo através da fórmula de Sabine corresponde com a realidade verificada *in loco*, podendo ser usada para a comparação dos valores de TR ótimo e para a adequação na fase de proposição de melhorias no nível de estudo preliminar.

Para se obter diagnóstico do tempo de reverberação das salas de aula com seus usuários, foi simulada a mesma planilha do Excel, com o acréscimo de seus usuários totais. Deste modo, os valores finais obtidos permitem comparação com os valores considerados ótimos.

Tabela 13 - Comparação entre TR ótimo e calculado da sala de aula 01

<b>Frequência</b>	<b>125 Hz</b>	<b>250 Hz</b>	<b>500 Hz</b>	<b>1K Hz</b>	<b>2K Hz</b>	<b>4K Hz</b>
<b>TR Ótimo</b>	0,81s	0,63s	0,55s	0,55s	0,55s	0,55s
<b>TR Calculado</b>	4,05s	2,94s	2,15s	2,15s	2,0s	1,98s

Tabela 14 - Comparação entre TR ótimo e calculado da sala de aula 02

<b>Frequência</b>	<b>125 Hz</b>	<b>250 Hz</b>	<b>500 Hz</b>	<b>1K Hz</b>	<b>2K Hz</b>	<b>4K Hz</b>
<b>TR Ótimo</b>	0,81s	0,63s	0,55s	0,55s	0,55s	0,55s
<b>TR Calculado</b>	3,34s	2,36s	1,80s	1,74s	1,61s	1,57s

Tabela 15 - Comparação entre TR ótimo e calculado da sala de aula 03

<b>Frequência</b>	<b>125 Hz</b>	<b>250 Hz</b>	<b>500 Hz</b>	<b>1K Hz</b>	<b>2K Hz</b>	<b>4K Hz</b>
<b>TR Ótimo</b>	0,74s	0,57s	0,50s	0,50s	0,50s	0,50s
<b>TR Calculado</b>	2,00s	2,04s	1,65s	1,55s	1,31s	1,32s

As Tabelas 13, 14 e 15 demonstram que a situação das salas de aula, onde percebeu-se que todas as salas apresentam Tempo de Reverberação bastante elevado, assim os ambientes se encontram muito reverberante, com excessivas quantidades de materiais reflexivos, além do pouco isolamento acústico.

## ▪ Ruído de Fundo (RF)

Como já dito anteriormente, o ruído de fundo é aquele existente no interior do ambiente na sua condição mais reverberante, ou seja, quando não existe nenhuma atividade no mesmo. Os resultados das medições foram os seguintes para cada sala:

Tabela 16 - Resultados de ruído de fundo para cada sala

Ambientes	Ruído de Fundo (dB)		
	Lafmax	Lafmin	Laeq
Sala 01	70,3	41	50,2
Sala 02	71,2	41,8	51,1
Sala 03	83,8	39,5	57,8

(Legenda: Lafmax= nível de ruído de fundo máximo/ Lafmin= nível de ruído de fundo mínimo/ Laeq= nível de ruído de fundo equivalente)

Os resultados estudados expressam que o ruído residual de todas as salas se apresentam acima do permitido pela NBR 10.152 (2017), como mostra a Tabela 16, para salas de aula, que é de 35 dB, mostrando que as salas revelaram problema de isolamento acústico, devido à quantidade de elementos vazados presentes na mesma.

## Conclusões dos dados quantitativos

Em relação aos dados quantitativos foi diagnosticado que, a Escola Almirante Tamandaré sofre principalmente com o problema de isolamento acústico que não é adequado, porém a principal fonte de ruído não é externa, e sim interna.

O ruído interno é tão elevado que ocorre mascaramento do ruído externo. O Nível de Pressão Sonora apresenta-se elevado durante o período de aula para todas as salas e, devido aos elementos vazados, o ruído escapa para outros ambientes. Além disso, os ambientes são muito reverberantes, com excessivas superfícies reflexivas e poucas superfícies absorventes, fazendo com que as ondas sonoras se prologuem muito tempo no ambiente. Deste modo, em relação à qualidade acústica, a Escola possui problemas tanto de condicionamento acústico, como principalmente de isolamento acústico.

## Análise e Diagnóstico de dados qualitativos

Simultaneamente às medições foram aplicados os formulários para os usuários da escola, entre eles, 133 alunos, 16 professores e 17 funcionários. A opinião dos usuários foi parte importante da pesquisa, valendo ressaltar que cada usuário teve suas peculiaridades e a percepção do ruído pôde variar. Muitas vezes, o que é incômodo para uma pessoa pode não ser para outra, devido aos diferentes graus de adaptações às circunstâncias, o que não significa necessariamente que estas estão adequadas.

Em primeira análise, nos formulários aplicados aos alunos, as duas primeiras questões (Gráfico 05 e 06) estão correlacionadas, são referentes ao local onde o aluno costuma sentar e se escuta bem ou não o professor. E conclui-se que, independentemente do local que o aluno costuma sentar, a maioria não escuta bem o professor. A porcentagem de alunos que ainda escuta melhor o professor são os alunos que costumam sentar na frente, o que é esperado devido ao alcance da voz do professor.

Gráfico 05 – Resultado dos locais que alunos costumam sentar

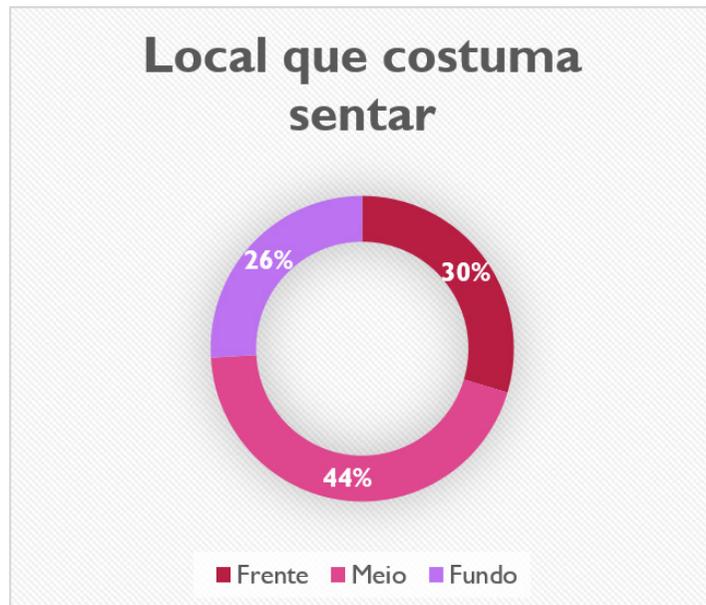
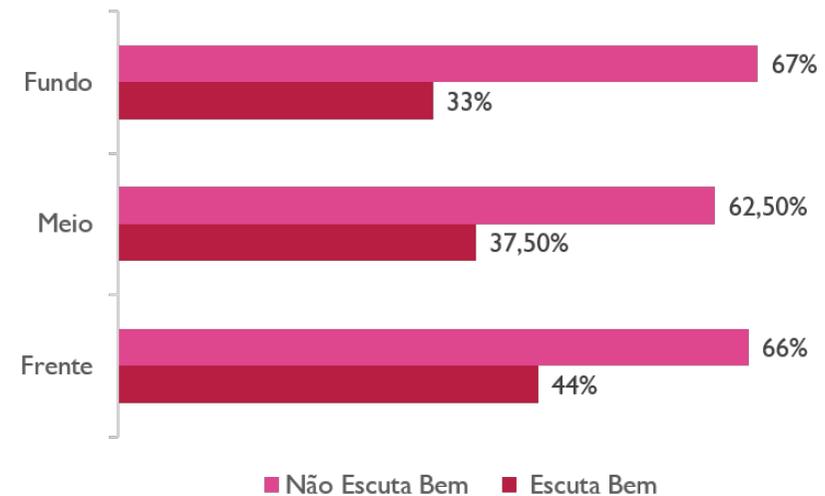


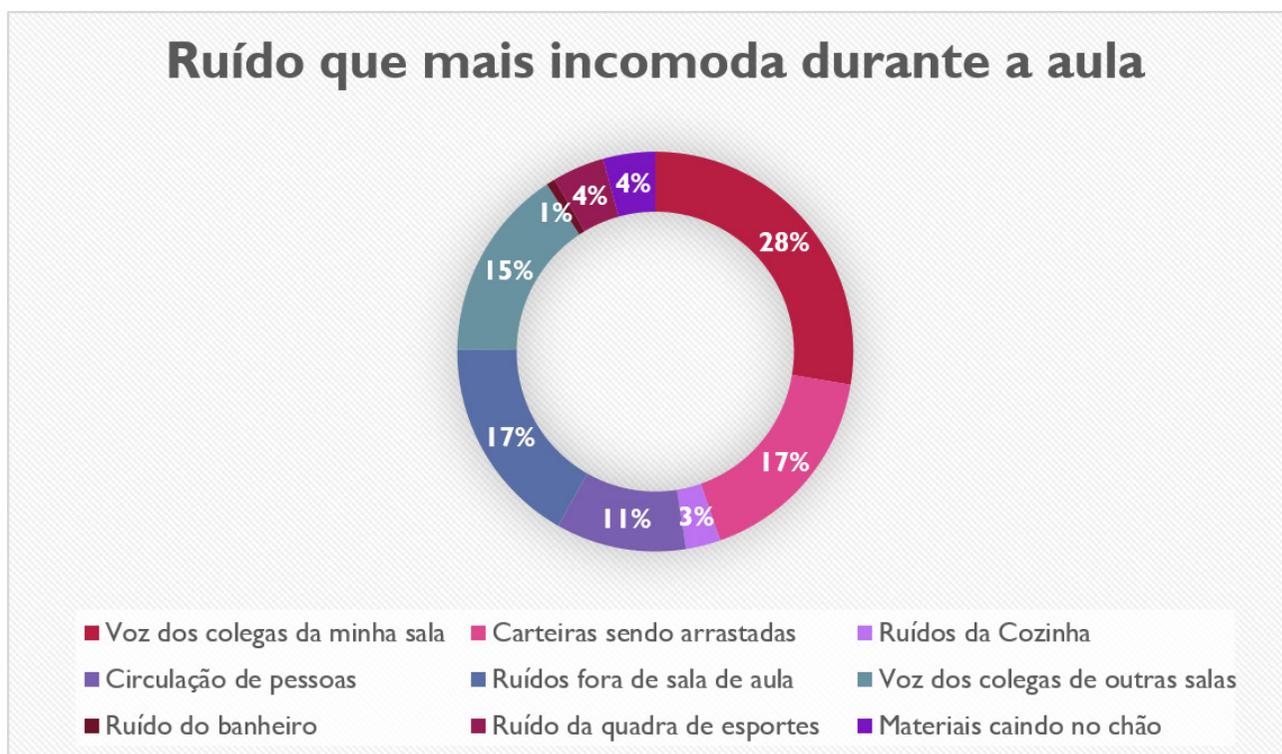
Gráfico 06 – Resultados se escutam bem ou não o professor de acordo com o local que costumam sentar



As questões seguintes são referentes à opinião dos alunos em relação aos ruídos. Entre os alunos, 86% acreditam que o ruído predominante na escola é o interno, o que corrobora o resultado das medições. Em relação ao ruído externo à sala de aula, 57% dizem que o ruído predominante são pessoas, seguido de 24% os automóveis e 12% as buzinas. Como já explicado, o ruído externo não é predominante devido ao mascaramento do próprio ruído interno.

Adentrando ao ruído interno às salas de aula, 96% dos alunos consideram a sua sala de aula ruidosa, e 67% consideram que o ruído lhe incomoda. O Gráfico 07 mostra quais são os ruídos que mais incomodam durante a aula, 28% dos alunos acreditam que o ruído mais incomodo é a voz dos colegas da própria sala, seguido com 17% de carteiras sendo arrastadas e ruídos fora de sala de aula (porém dentro da escola).

Gráfico 07 - Resultados de qual forma o ruído mais incomoda durante a aula



Ao serem questionados quando o ruído mais incomodava (Gráfico 08), 35% dos alunos responderam que quando não compreendem o professor, seguido de 22% quando estão realizando leituras, 18% quando estão realizando provas, 16% ao realizar atividades e 9% respondeu que o ruído não incomodava.

Medeiros (2019), trabalhando com exame de triagem auditiva (Emissões Otoacusticas Transientes), na Escola Almirante Tamandaré, observou que em cada turma ocorreu uma média de dois alunos com rebaixamento auditivo, a mesma atribui este fato ao alto índice de ruído escolar e/ou problema genético.

Gráfico 08 – Resultados de quando o ruído mais incomoda durante a aula

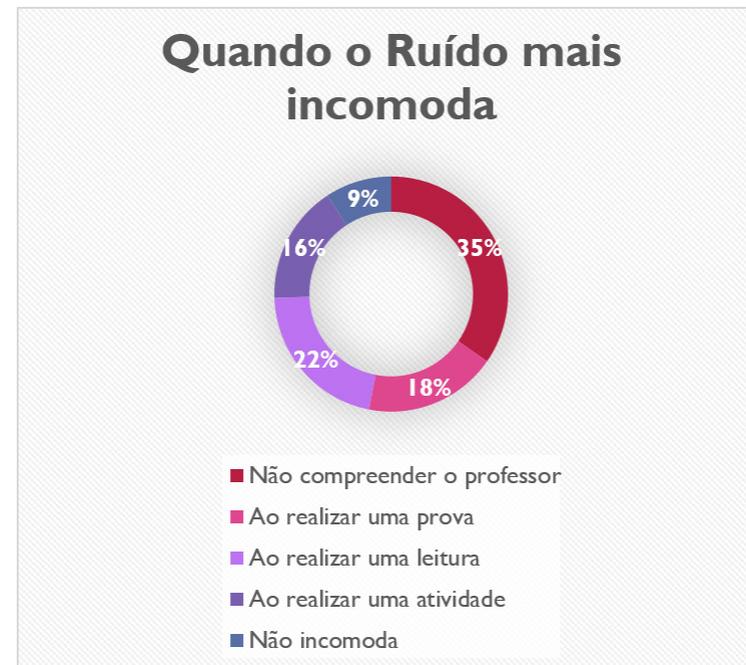
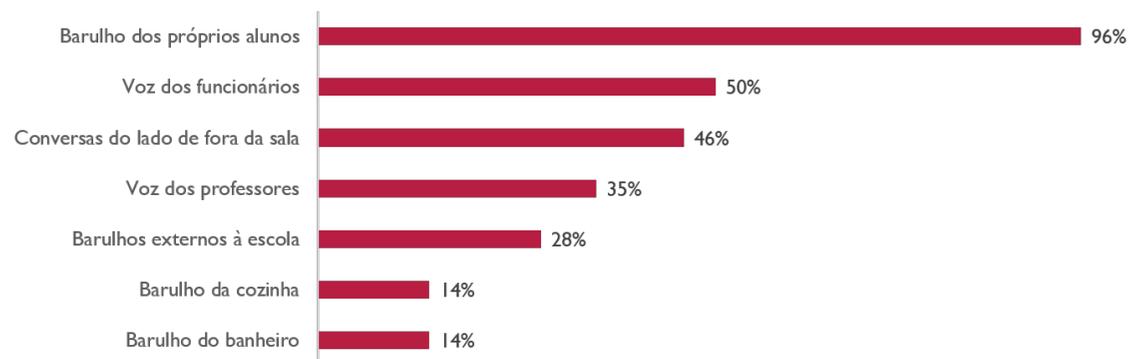


Gráfico 09 – Resultados do ruído predominante na escola

Nos formulários aplicados aos funcionários, 96% dos mesmos acreditam que o ruído predominante na escola é o ruído dos próprios alunos, seguido por 50%, voz dos professores, e 46% por conversas do lado de fora das salas, entre outros, como demonstrado no Gráfico 09.



A influência do ruído está expressa no Gráfico 10, onde verifica-se que os funcionários apresentaram dor de cabeça em média de 75%; piora de audição com média de 64%; irritabilidade média de 63%; cansaço valor médio de 40% e desânimo 39%.



Os valores analisados aos questionamentos aos professores, evidenciaram que 50% afirmaram já se ausentarem das atividades devido a fadiga vocal ou algum problema causado pelo ruído e 100% dos mesmos acreditam que o ruído afeta o rendimento escolar dos alunos.

Os professores enfatizaram que o ruído predominante em sala de aula é o ruído causado pelos próprios alunos, e 63% consideraram que os ruídos provenientes das salas vizinhas interferem as aulas. Para os mesmos, as atividades mais afetadas pelo ruído são as aulas expositivas (81%), além de momentos de leitura (63%) e a concentração dos alunos (63%), mostrado no Gráfico 11.

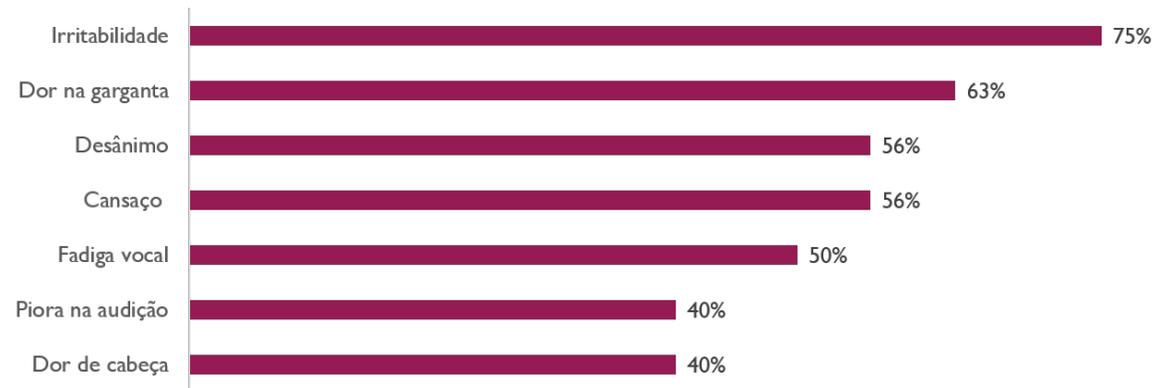
Entre as reclamações dos professores em relação ao ruído, 75% se queixa de irritabilidade, 63% reclamam de dores de garganta, além de desânimo, cansaço, fadiga vocal, piora na audição e dores de cabeça (Gráfico 12).

De acordo com Medeiros (2019), na Escola Almirante Tamandaré, uma média de dois a três professores ou funcionários apresentam rebaixamento auditivo decorrente do alto índice de ruído escolar e/ou problema genético, dado discriminado pelo o exame de triagem auditiva (Emissões Otoacusticas Transientes).

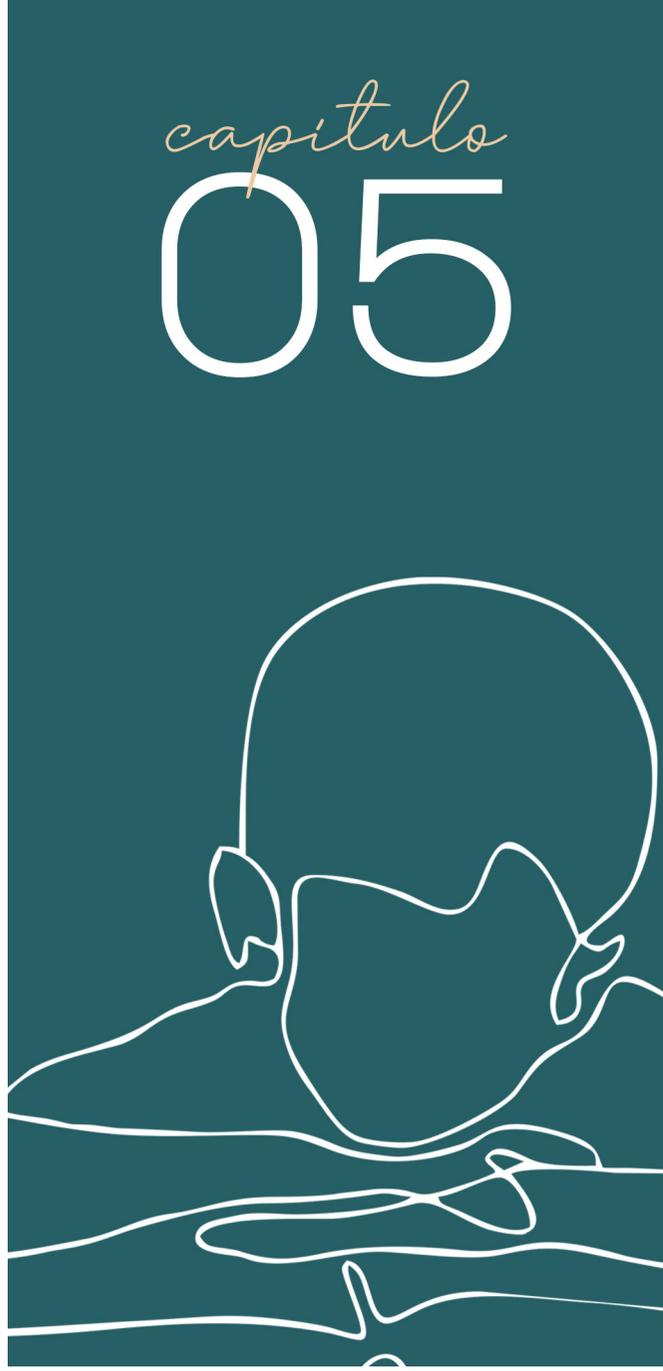
Gráfico 11 - Resultados das atividades mais afetadas pelo ruído nas salas de aula



Gráfico 12 - Resultados da influência do ruído nos professores



Os resultados do presente estudo demonstram que os dados qualitativos corroboram com os resultados quantitativos em relação à falta de isolamento e condicionamento acústicos na escola, principalmente nas salas de aula, gerando desconforto acústico tanto aos alunos, como aos professores, bem como aos funcionários.



# PROPOSTA

No capítulo anterior, as hipóteses em relação à situação acústica da Escola Almirante Tamandaré foram confirmadas, por meio dos resultados obtidos nos levantamentos dos dados quantitativos (Nível de Pressão Sonora, Tempo de Reverberação e Ruído de Fundo) e nos dados qualitativos (opinião dos usuários).

Em resumo, as condições de isolamento acústico da escola não estão adequadas. Por mais que exista ruído externo no limite do que a norma NBR 10.151 permite para área mista predominantemente residencial, que é de 55 dB em períodos diurnos, o ruído interno é superior e mascara o externo. O NPS apresenta-se elevado durante todo o período de aula para todas as salas e, os elementos vazados permitem que o ruído escape para os outros ambientes. Os ambientes são também muito reverberantes, com muitas superfícies reflexivas e poucas superfícies absorventes, aumentando o TR dos mesmos, que estão bem elevados em relação ao TR Ótimo nas salas de aula. Concomitantemente confirmou-se a insatisfação dos usuários (professores, funcionários e alunos).

Deste modo, todos os dados foram utilizados como base para a regulamentação do conforto acústico nas salas de aula, que deram suporte suficiente para propostas projetuais de melhoria do conforto acústico das mesmas. Foi realizado um projeto, em nível de estudo preliminar, de isolamento e condicionamento acústico para cada tipologia de sala de aula. O parâmetro utilizado para a correção acústica foi o tempo de reverberação, relacionado com a audibilidade do local.

Este capítulo será dividido em duas partes. A primeira consiste na proposta de correção das salas de aula escolhidas e a segunda é composta de diretrizes de melhorias de conforto acústico em projetos arquitetônicos para futuras escolas.

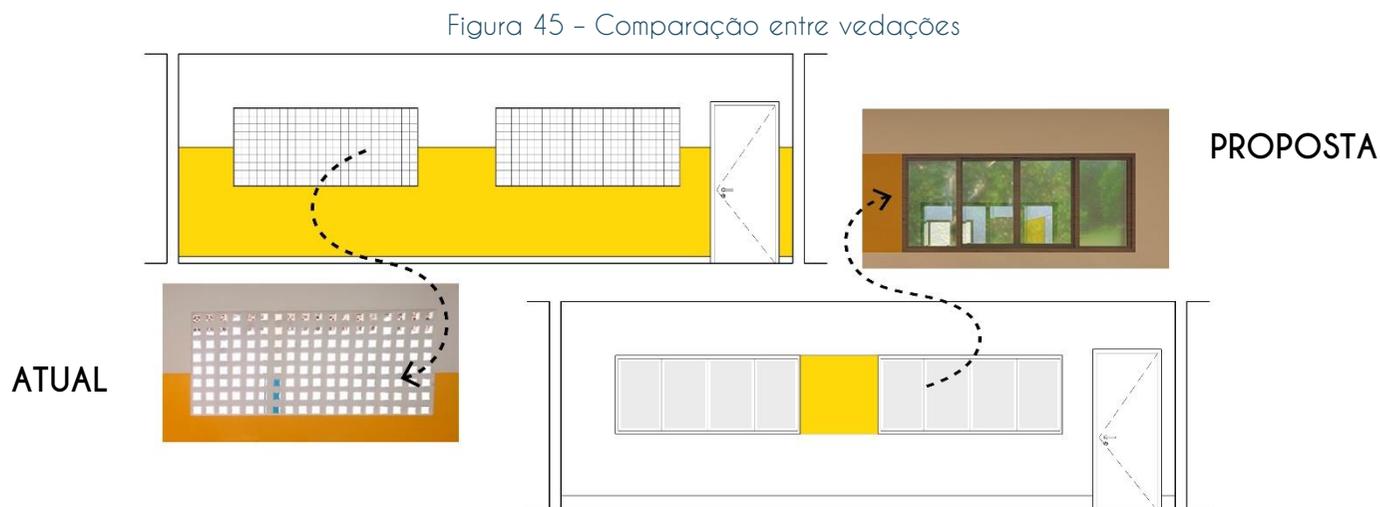
## Proposta de melhorias em nível de estudo preliminar

Quando se fala em projeto acústico o primeiro questionamento que surge é em relação à viabilidade econômica do mesmo. A acústica deve ser vista como um investimento a longo prazo, a saúde e a qualidade de vida devem ser prioridades. Reverter uma má qualidade acústica em ambientes já construídos além de ser mais complicado, terá um custo financeiro maior.

Deste modo, ao analisar as duas tipologias a serem propostas, verificou-se que ambas apresentam áreas muito parecidas, porém com volumes diferentes. Assim foi decidido que um modelo de sala irá se preocupar com a questão da viabilidade financeira, usando materiais e soluções mais viáveis para o caso de uma escola pública (Proposta Sala 03), por exemplo, e outro modelo não terá tanta preocupação com este aspecto, que seria o caso das escolas privadas (Proposta Sala 01/02), por exemplo. Essa diferenciação serve para se averiguar se materiais com menor custo serão tão eficientes quanto os materiais especializados acusticamente, que costumam ter um custo mais elevado.

### Proposta Sala 03

O primeiro passo da proposta da Sala 03 foi encontrar um modo para isolar melhor a sala. Na situação atual, os elementos vazados e as janelas de venezianas fazem com que o ruído entre e saia com facilidade do ambiente. Assim, os mesmos foram substituídos por janela de madeira e vidro simples, como mostra a Figura 45. Em relação à permeabilidade visual, o uso do vidro não afetaria, pois, as áreas adjacentes são de pouca circulação, nesta tipologia.



O segundo passo da proposta consistiu na substituição do forro. O forro atualmente apresenta uma área de aproximadamente 50 m<sup>2</sup> de PVC, material muito reflexivo, com baixo coeficiente de absorção, o que não é ideal para a acústica da sala de aula. O forro proposto possui parte central reflexiva, de gesso acartonado, para permitir que a voz do professor alcance todos os alunos e a extremidade absorptiva, forro mineral OWA Janus, nas áreas consideradas de circulação, como mostrado na Figura 46.

Figura 46 - Comparação entre forros

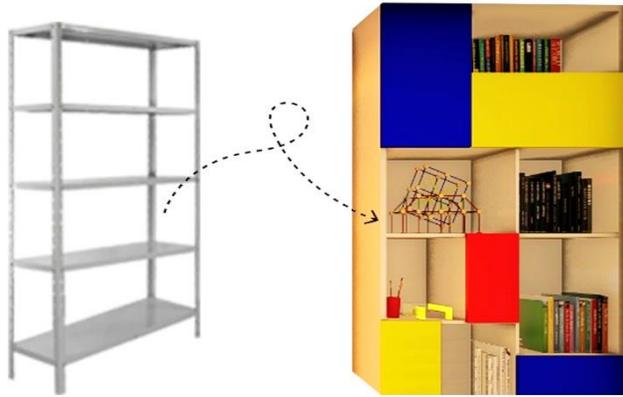


Ao se aplicar tais mudanças na tabela, o ambiente encontra-se ainda, muito reverberante. O próximo passo consistiu em algumas mudanças de mobiliário. As mesas e cadeiras foram substituídas por carteiras escolares acolchoadas, o professor antes não possuía mesa com tamanho ideal, então esta também foi substituída (Figura 47), e, o armário que antes era de metal, foi trocado por duas estantes personalizadas (Mondrian) de MDF com área maior (Figura 48).

Figura 47 - Mudança de mobiliário



Figura 48 - Mudança de mobiliário



Mesmo após a mudança de mobiliário, o Tempo de Reverberação não era o ideal para a sala, assim, foi aplicado na parede oposta ao quadro, uma área de cortiça, que serviria para diminuir ainda mais o excesso de reverberação e de possíveis ecos, e seria um local de exposição de trabalhos escolares. No mais, foi aplicado em algumas paredes uma faixa de pintura para compor melhor o espaço, como podemos ver nas Figuras 49 a 54.

Deve-se ressaltar que o projeto luminotécnico não foi estudado, necessitando uma posterior avaliação.

Figura 49- Vista Oeste da Sala 03

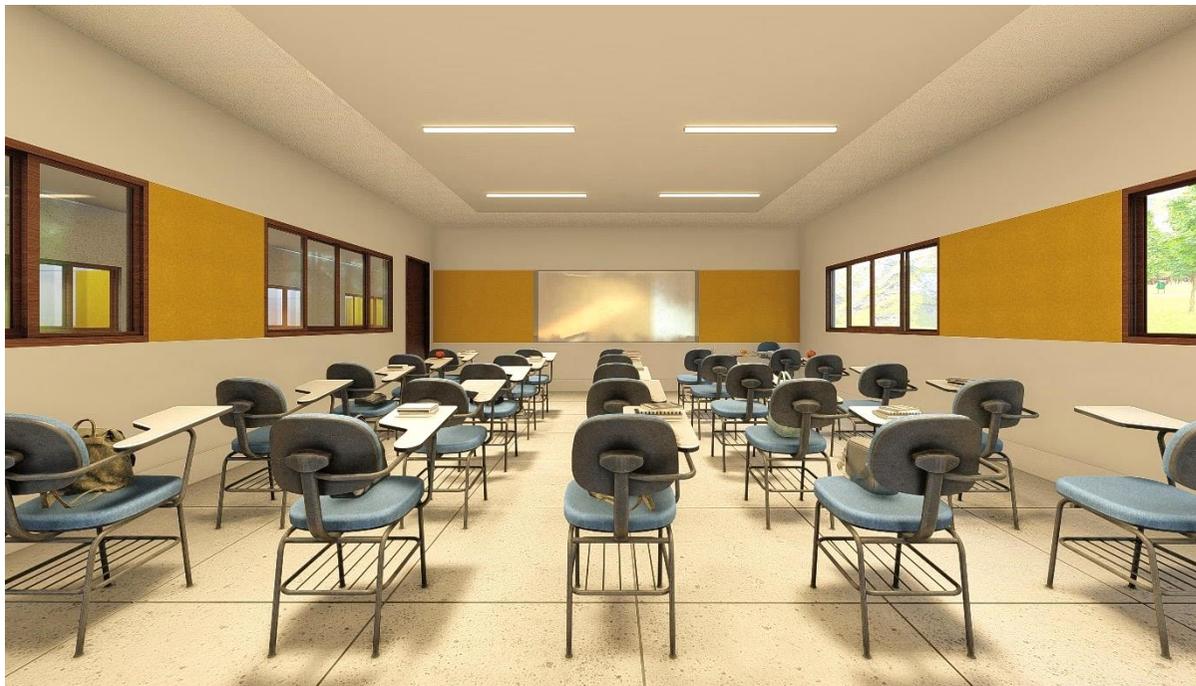


Figura 50- Vista da Sala 03



Figura 51- Vista Leste da Sala 03



Figura 52- Vista Norte Sala 03



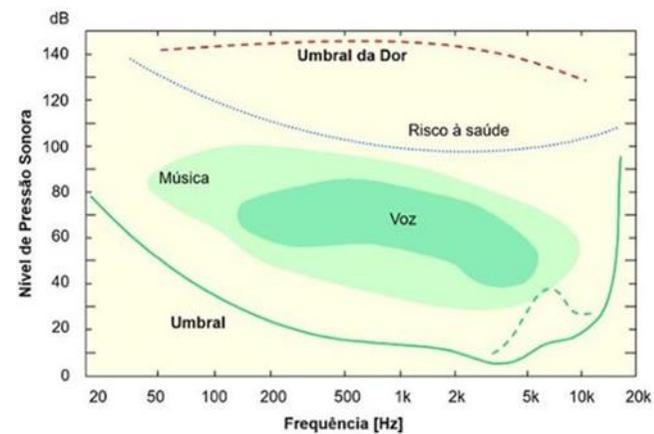
Figura 53- Vista Sul Sala 03



Figura 54- Perspectiva Sala 03



Figura 55- Gráfico do Limiar da Voz Humana



A partir de todas as mudanças projetuais adotadas, o Tempo de Reverberação Ótimo para a Sala 03 foi atingido, como podemos analisar na Tabela 17. É importante evidenciar que as frequências da “palavra falada” equivalem as médias e altas frequências, que são as que devem ser alcançadas nesta pesquisa (como mostra a Figura 55). As tabelas detalhadas de comparação entre a situação atual e a situação proposta se encontram no Apêndice desta pesquisa.

Fonte: <http://www.audium.com.br/noticias/> <Acesso em :15/10/2019>

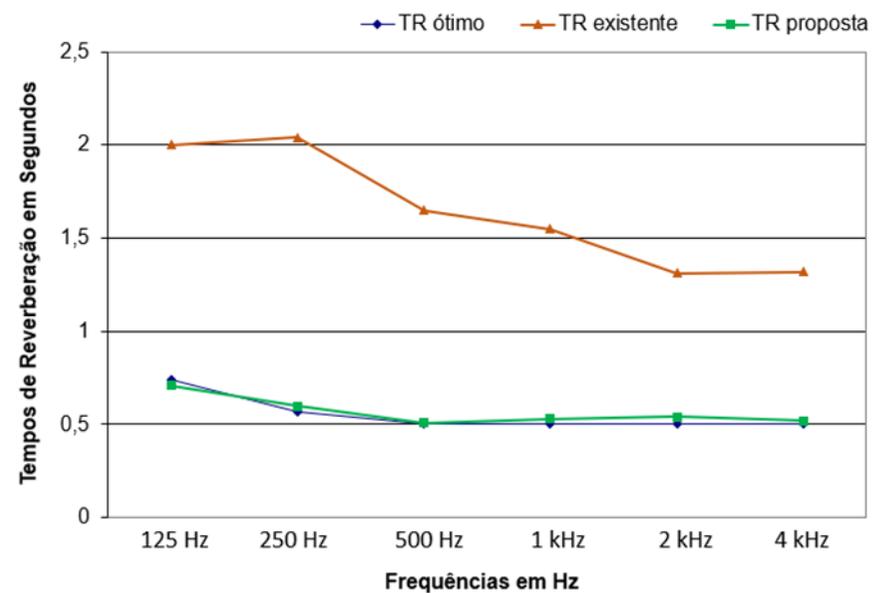
Tabela 17 - Comparação entre TR proposto e TR ótimo

Frequência	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1K Hz	2K Hz	4K Hz
TR Proposto	0,71s	0,60 s	0,51s	0,53 s	0,54 s	0,52 s
TR Ótimo	0,74s	0,57s	0,50 s	0,50 s	0,50 s	0,50 s

Verificando o Gráfico 13 ao lado, o TR existente está muito elevado, como já foi mostrado no levantamento dos dados quantitativos. Com a proposta, o Tempo de Reverberação está muito próximo ao considerado Ótimo para a sala em questão, a diferença não chega a um segundo.

Deste modo, o êxito é confirmado e percebe-se que pequenas mudanças no ambiente foram capazes de trazer uma diferença de quase dois segundos no Tempo de Reverberação.

Gráfico 13 - Comparação entre TR atual, TR proposto e TR ótimo



## Proposta Sala 01 e 02

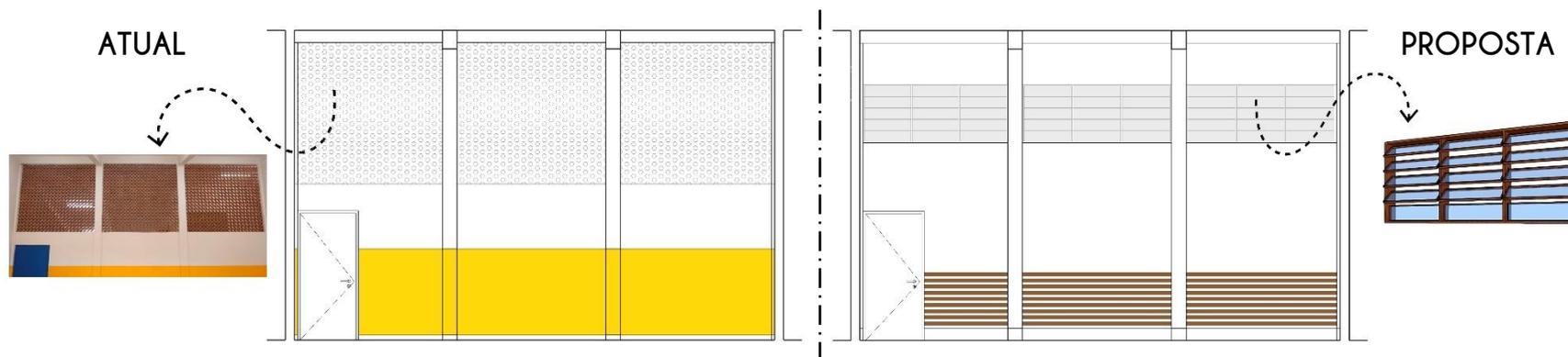
Nessa tipologia de sala, existe uma grande área de elementos vazados (cerca de 12 m<sup>2</sup>), cujo objetivo é garantir a ventilação cruzada, em frente as salas de aula existem uma circulação enclausurada e banheiros sem aberturas para tal circulação, como mostrado na Figura 56.

Figura 56- Esquema de corte para visualização da ventilação



Deste modo, o primeiro passo dessa proposta consistiu em isolar as salas, substituindo os elementos vazados existentes por janelas basculantes de madeira e vidro simples na vista sul (indicado na Figura 57) e, por janelas de correr de madeira e vidro simples na vista norte, o que permite que ainda ocorra ventilação. A vedação dos elementos já é um projeto previsto pela escola, devido à pretensão da instalação de ar condicionados.

Figura 57- Comparação de vedação atualmente e proposta na vista Sul.



Como o volume dessa tipologia é bem superior à anterior, resolveu-se deixar as modificações do forro por último, pois, seria a decisão projetual mais importante nesta proposta. Então, o segundo passo consistiu na alteração de alguns mobiliários. As mesas e cadeiras foram substituídas por carteiras escolares acolchoadas, e a mesa do professor também foi alterada (Figura 58).



Nesta proposta, decidiu-se não colocar estante, pois, para estes alunos de ensino fundamental anos finais, o material costuma ser individual. Deste modo, foi proposto um painel ripado de madeira com compartimento para exposição de livros (Figura 59), para incentivar a troca de livros lidos pelos alunos. Ao escolher o painel ripado de madeira, ocorre a substituição de uma área de XX de reboco comum (alfa = ) por 42,32 m<sup>2</sup> área de painel ripado, diminuindo a reverberação do ambiente, visto que o coeficiente de absorção da madeira é maior que o de reboco comum, vide Planilha de Tempo de Reverberação Proposta (Apêndice).

Figura 59 - Painel ripado de madeira vista



Como dito anteriormente, o último passo da proposta foi a elaboração de um forro acústico. Da mesma forma que na proposta da sala 03, foi necessária parte absorviva e reflexiva, para o melhor alcance da voz do professor. Com intuito de obter o tempo de reverberação considerado ótimo, usou-se gesso acartonado pendente (como material reflexivo) e nuvens acústicas quadradas e retangulares TriSoft pendentes (material absorvente), como mostrado na Figura 60.

Figura 60 - Material utilizado no forro da proposta

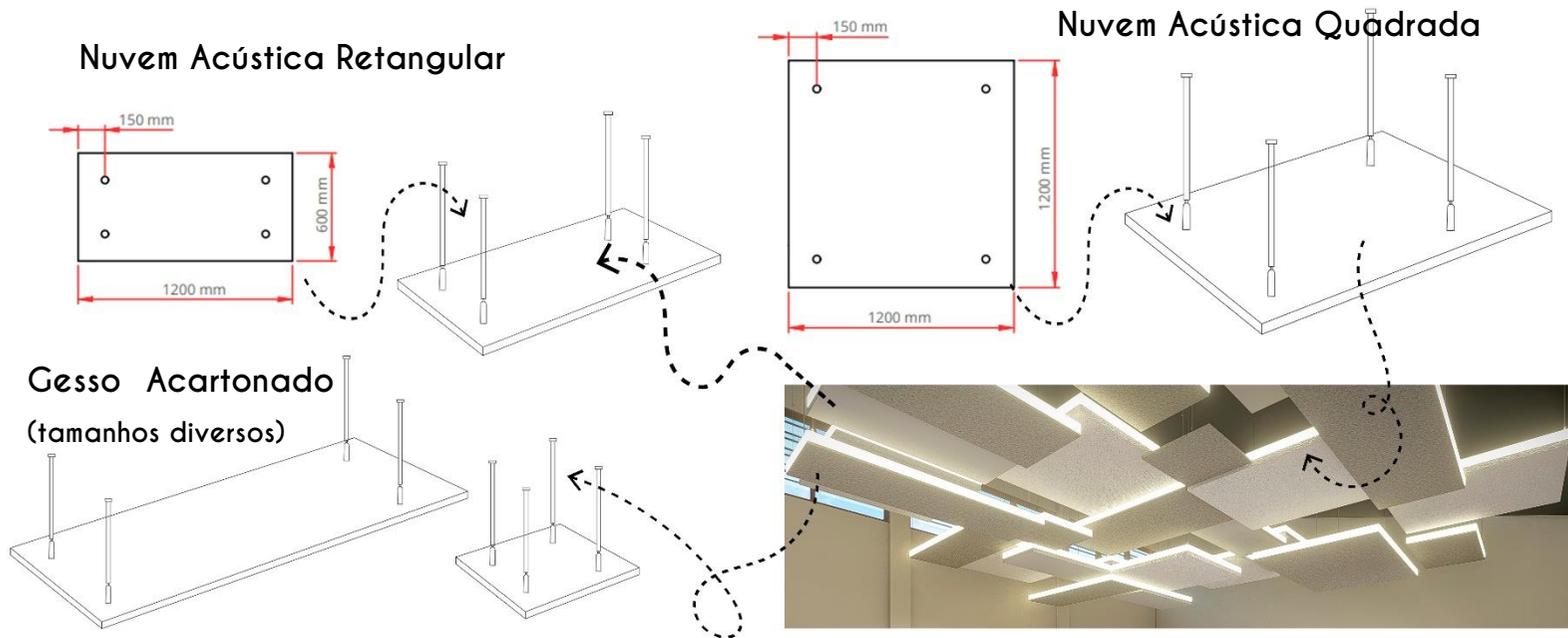


Figura 61 - Vista Sul da proposta final

As nuvens acústicas e os gessos acartonados foram dispostos em diferentes alturas, mas limitados à altura do menor pé direito (3,2m), diminuindo a sensação de volume desproporcional.

A área do gesso acartonado corresponde a cerca de 15 m<sup>2</sup> e a área das nuvens acústicas cerca de 35 m<sup>2</sup>. A planta de forro da proposta encontra-se no Apêndice desta pesquisa.

A composição final da proposta é mostrada nas Figuras 61 a 66. Ressalta-se que o projeto luminotécnico não foi proposto, necessitando posterior estudo.

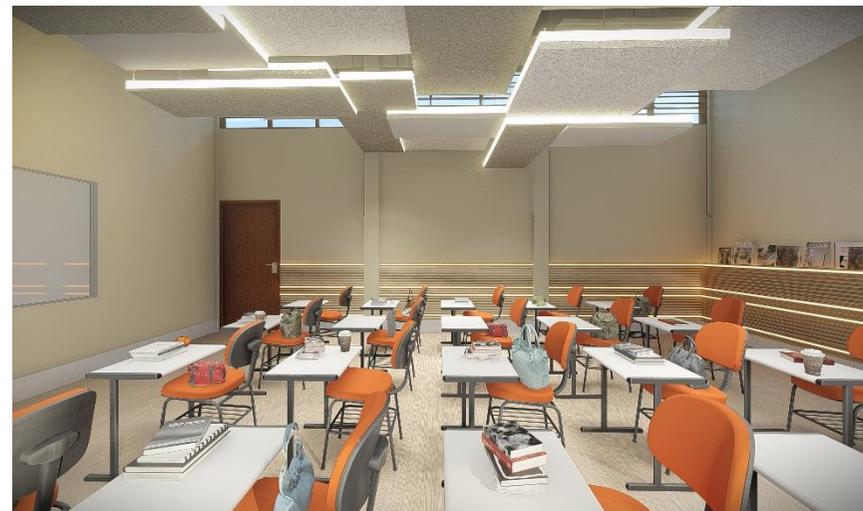


Figura 62 - Perspectiva da proposta final



Figura 63 - Vista Oeste da proposta final



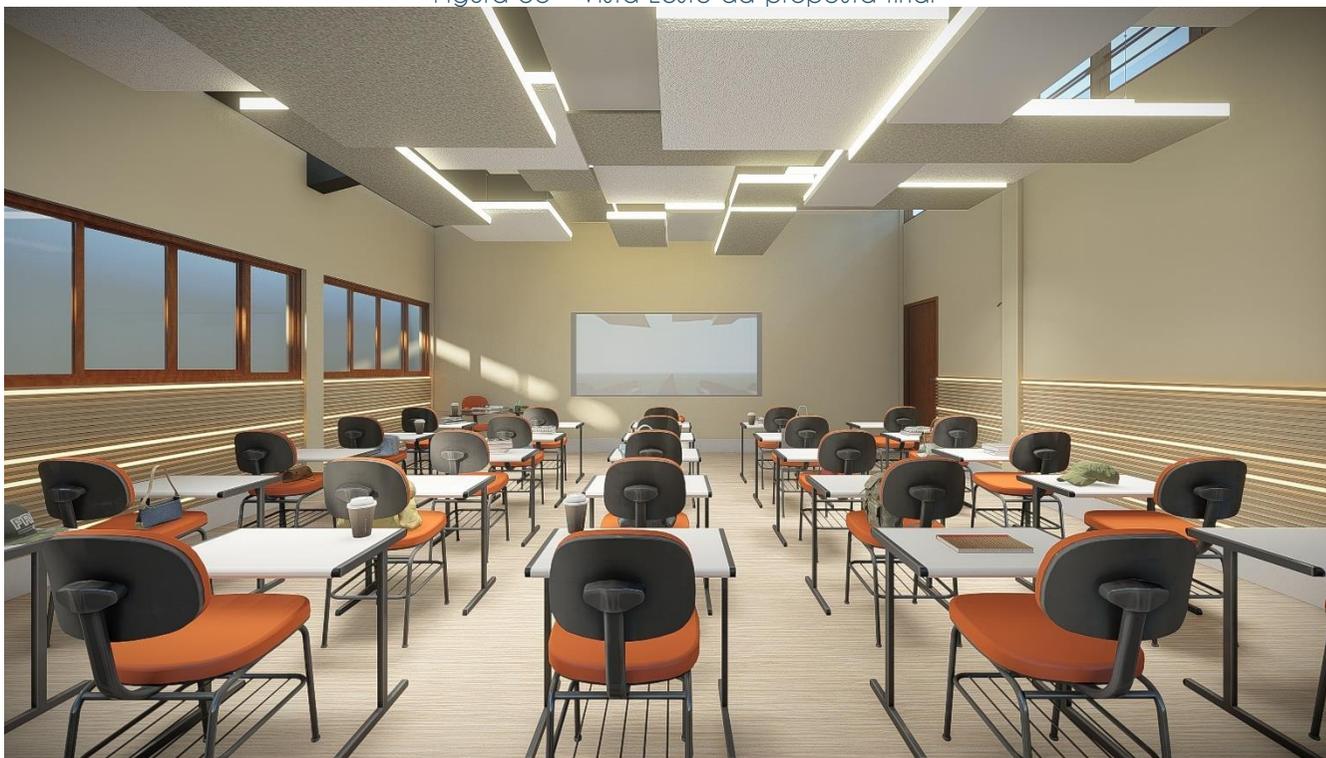
Figura 64 - Vista Norte da proposta final



Figura 65 - Perspectiva da proposta final



Figura 66 - Vista Leste da proposta final



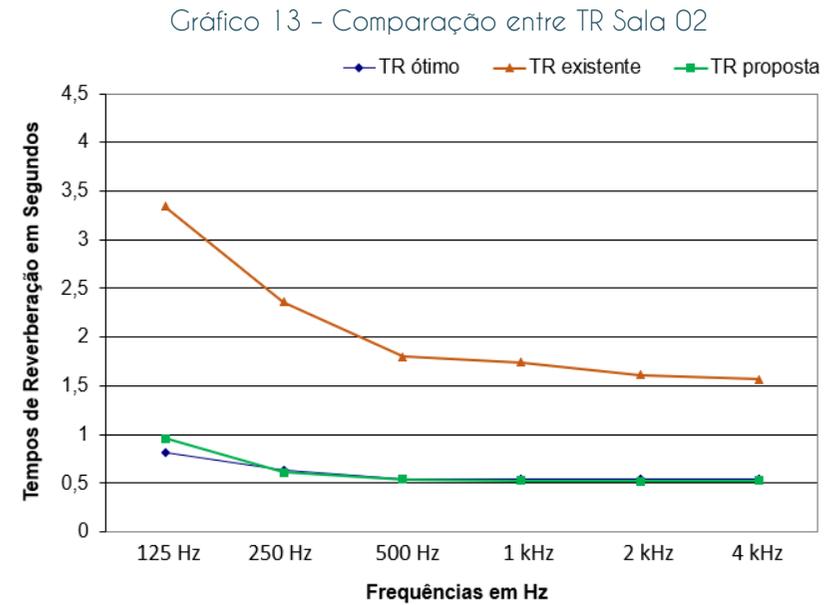
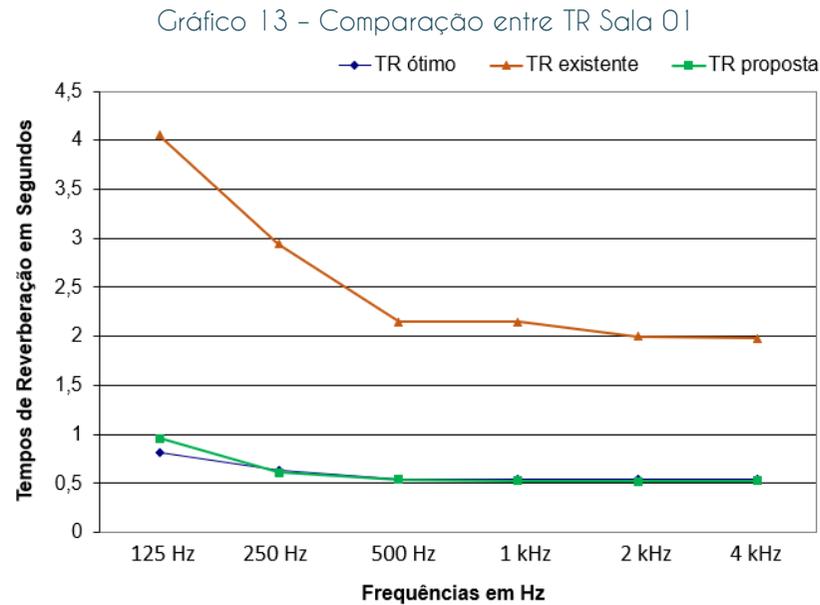
A partir de todas as mudanças projetuais adotadas, o Tempo de Reverberação Ótimo para as Salas 01 e 02 foi atingido. Como pode-se analisar nas Tabela 18, a maior diferença entre valores é nas baixas frequências, que são muito difíceis de serem atingidas, mas não afeta o êxito da proposta, pois as médias e altas frequências que são referências. As tabelas detalhadas de comparação entre a situação atual e a situação proposta se encontram no Apêndice desta pesquisa.

Tabela 18 - Comparação entre TR proposto e TR ótimo

Frequência	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1K Hz	2K Hz	4K Hz
TR Proposto	0,96s	0,61 s	0,54 s	0,53 s	0,52 s	0,53 s
TR Ótimo	0,81s	0,63s	0,55 s	0,55 s	0,55 s	0,55 s

Verificando os Gráfico 13 e 14, equivalentes ao TR existentes nas Salas 01 e 02, percebe-se que os valores existentes estão elevados, mostrado anteriormente no levantamento dos dados quantitativos. Com a proposta, para ambas as salas, o Tempo de Reverberação se encontra muito próximo ao Ótimo, a diferença de ambos não chega a um segundo.

Os gráficos mostram que os valores de TR existente são distintos entre as salas da mesma tipologia, fato explicado devido à grande diferença de alunos entre elas. Esta proposta de correção também obteve êxito, os materiais escolhidos foram mais sofisticados em termos de eficiência acústica, pois utilizou-se materiais próprios para tais correções.



Comparando as duas propostas, ambas alcançaram os objetivos esperados, mesmo com a diferença entre os materiais utilizados, mostrando que materiais de menor custo são capazes sim de atingirem um conforto acústico ideal. Além de ser possível atingir um bom isolamento e condicionamento acústico com algumas mudanças e, a escolha certa dos materiais e de suas respectivas áreas acarretam resultados mais eficientes.

## Diretrizes Projetuais Acústicas

As questões acústicas muitas vezes são tratadas após a detecção de problemas nos projetos, o que as tornam mais difíceis e onerosas de serem resolvidas. Considerá-las desde o processo projetual é a melhor forma de prevenir impasses que possam vir a ocorrer. Com base nisto, algumas diretrizes foram elaboradas com o intuito de direcionar o processo projetual acústico em escolas a serem construídas. Para se desenvolver um projeto acústico de qualidade analisa-se a parcela ambiental, ou seja, o espaço urbano inserido, e a parcela arquitetônica, o edifício e os seus espaços internos.

Ponderando estas informações, na escala urbana recomenda-se a realização de um estudo prévio acústico do entorno, visto que, a inserção de uma edificação no meio interfere na acústica do ambiente e do próprio edifício. É necessário estudar então as ocupações do solo, as edificações vizinhas e seus usos, o tráfego e vias.

Para o controle e a prevenção de ruídos, o mapeamento acústico do local se faz necessário. Este é uma ferramenta de controle do ruído urbano, onde identifica-se as principais fontes sonoras para que estratégias e decisões acústicas sejam tomadas.

Na escala do edifício, a implantação do mesmo deve ser elaborada mediante da setorização, pois áreas ruidosas precisam ser afastadas de áreas silenciosas. Barreiras acústicas são soluções projetuais relevantes para tal, visto que, evitam a interferência das fontes de ruído no edifício e podem se tornar uma fonte de ruído, como mostra a Figura 44. Segundo Souza et al (2012), para uma boa eficiência dessas barreiras deve-se avaliar alguns pontos, como as frequências dos sons ao atingi-la, a proximidade entre fonte e receptor, a altura e massa da estrutura, a estanqueidade, como essa barreira se portará visualmente e a movimentação do ar perante a mesma.

Já na escala do ambiente interno, é necessário considerar o isolamento, ou seja, a qualidade das vedações, a quantidade de aberturas e as espessuras das alvenarias. Neste momento, deve-se estabelecer decisões de como isolar os ruídos de impacto, se os mesmos existirem.

Para se condicionar os espaços internos do edifício, a escolha dos materiais a serem utilizados e suas respectivas áreas serão de extrema importância para a qualidade acústica. Além do mais, é necessário avaliar os volumes e a geometria dos ambientes, bem como a disposição do layout, pois, interfere no tempo de reverberação do mesmo.

Em relação às escolas, além de todas as decisões supracitadas, algumas outras devem ser levadas em consideração. As quadras poliesportivas não devem estar localizadas próximas às áreas silenciosas (tais como salas de

aula. Áreas ruidosas tais como pátios, cantinas, refeitórios precisam também estar afastadas das salas de aula, ou bem isoladas destas. Essa setorização adequada diminuirá o impacto sonoro durante os períodos de aula.

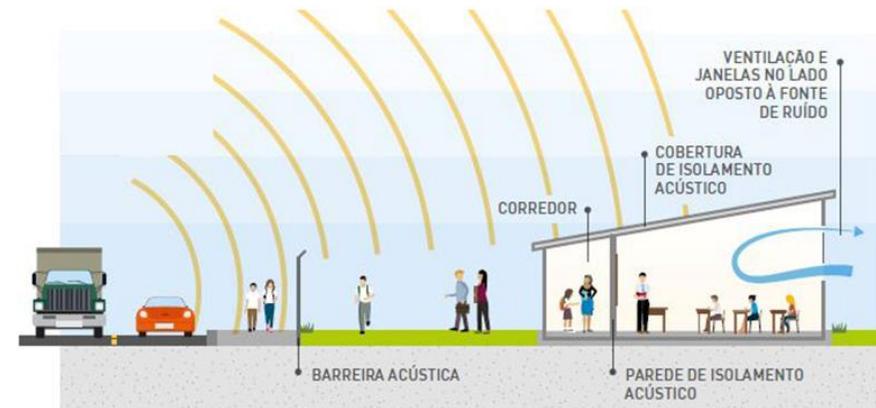
Nas áreas de circulação é ideal a presença de materiais fonoabsorventes. Caso as salas de aula possuam ar-condicionado, é necessário que os condensadores destes se encontrem afastados, evitando o ruído de impacto.

Nas salas de aula, deve-se buscar o equilíbrio nas superfícies internas entre materiais reflexivos e absorventes, a escolha dos materiais que compõem o meio é de extrema importância para se alcançar o tempo de reverberação ótimo e, o forro é uma decisão projetual significativa, pois alguns problemas acústicos são resolvidos apenas com a escolha certa do mesmo.

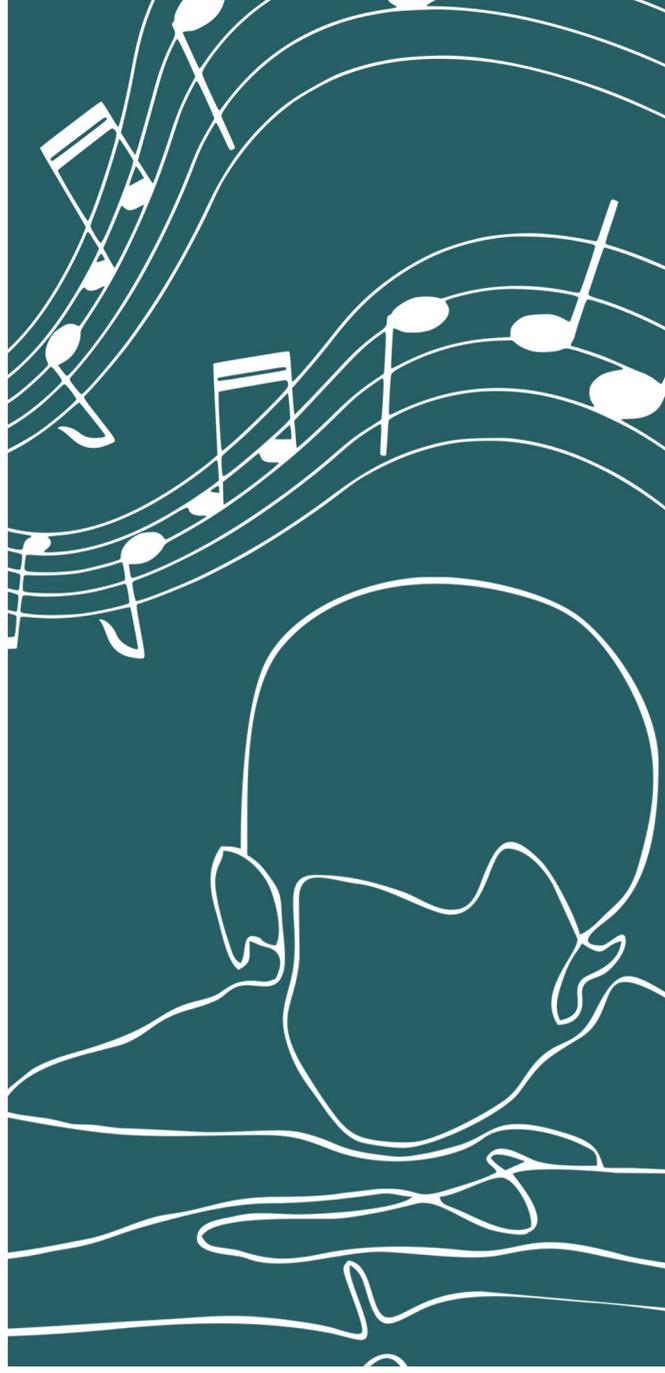
A disposição do layout também é uma decisão projetual relevante, a dinâmica de como acontecem as aulas pode interferir na qualidade acústica da sala. Reforçando a importância dos aspectos supracitados, as principais diretrizes projetuais acústicas para escolas a serem construídas são:

- Estudo prévio acústico do entorno;
- Mapeamento acústico da área;
- Implantação da Escola e setorização da Escola, afastando áreas ruidosas das áreas silenciosas;
- Barreiras Acústicas;
- Soluções arquitetônicas em relação ao isolamento acústico (ruído aéreo e de impacto);
- Escolha dos materiais e suas respectivas áreas;
- Geometria, volume e disposição do layout dos ambientes;
- Materiais fonoabsorventes nos corredores;
- Buscar equilíbrio entre superfícies reflexivas e absorventes;
- Alcançar o tempo de reverberação ótimo para cada ambiente.

Figura 44 – Exemplo de boas práticas acústicas no projeto de escola



Fonte: Manual ProAcústica (2019)



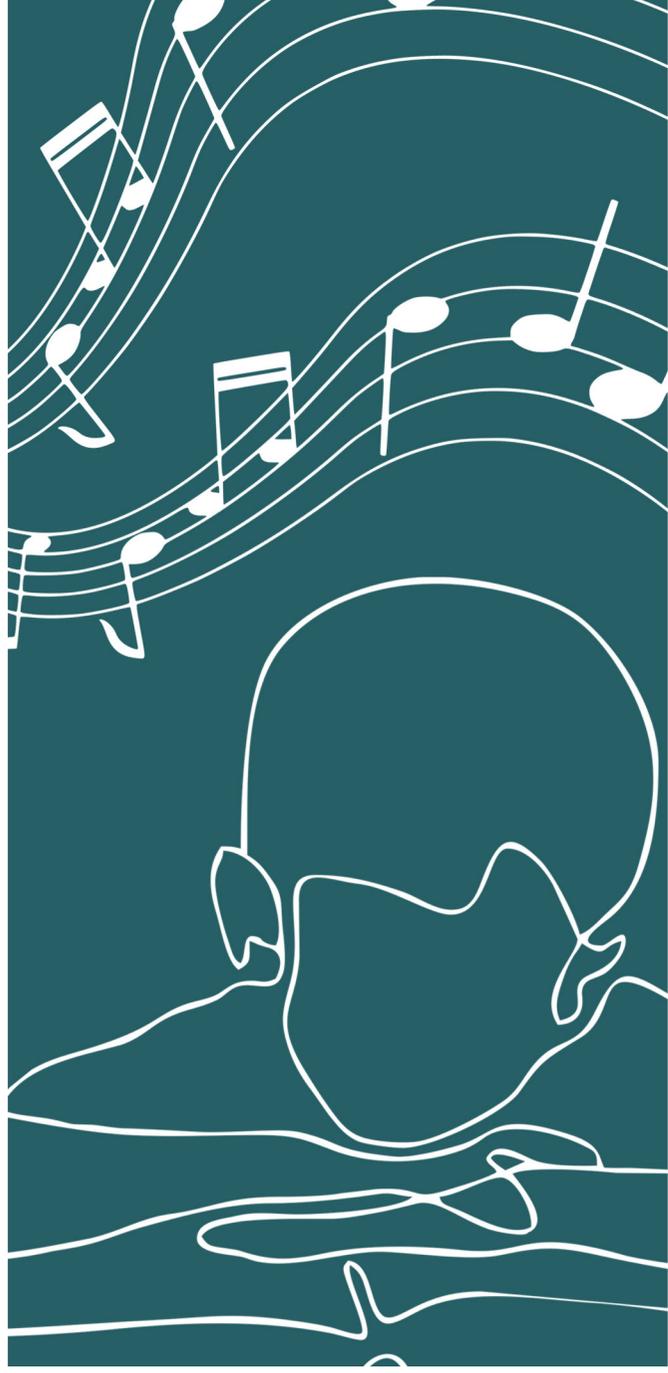
# CONCLUSÃO

A presente pesquisa tinha por objetivo geral avaliar e propor melhorias na acústica da escola Almirante Tamandaré, da rede pública de João Pessoa, com o propósito de colaborar com o conforto acústico dos seus usuários e funcionários. Para atingir tal objetivo cumpriu-se uma sequência de etapas metodológicas que consistiram em resumo no diagnóstico quali-quantitativo visando avaliação das condições acústicas para posterior intervenção de isolamento e condicionamento acústico via projeto (em nível de estudo preliminar) de salas de aula.

O diagnóstico provou que as condições de isolamento e condicionamento acústico da escola não estão adequadas. O ruído externo está no limite do que a norma NBR 10.151 permite para área mista predominantemente residencial, que é de 55 dB em períodos diurnos. O ruído interno é superior e acaba por mascarar o externo. Além disso, o Nível de Pressão Sonora (NPS) apresenta-se elevado durante o período de aula para todas as salas e, os elementos vazados permitem que o ruído escape para os outros locais. Os ambientes são, também, muito reverberantes, com muitas superfícies reflexivas e poucas superfícies absorventes, aumentando o Tempo de Reverberação (TR) dos mesmos, que estão bem elevados em relação ao Tempo de Reverberação Ótimo nas salas de aula. Somado a isso, os usuários se mostram bastante insatisfeitos (professores, funcionários e alunos).

Após o diagnóstico, foi elaborado uma proposta de correção acústica visando melhorias nas salas de aula para essa questão com novos materiais e com nova identidade visual, usando o Tempo de Reverberação como parâmetro. Registrar as diretrizes para projetos de futuras escolas não era um objetivo inicial da pesquisa, mas ao longo da mesma, verificou-se a importância dessa complementação.

Por fim, a pesquisa constatou que acústica não é item considerado prioritário em projetos escolares, sobretudo na rede pública e que é possível de ser atingida tanto na fase projetual (o que é bem mais eficiente e menos oneroso) ou na fase pós ocupação. Nesta última deve-se ter o cuidado na escolha das estratégias que tenham viabilidade financeira para o cliente, como mostram as propostas aqui desenvolvidas. Assim, não há motivos para desconsiderar acústica no projeto de ambiente escolares, pelo contrário, há muitos ganhos no processo ensino-aprendizagem dos alunos e no bem-estar e salubridade dos profissionais que ali trabalham.



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

ISO 16.283. Acoustics – **Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation**. Switzerland, 2014.

ISO 3832. Acoustics – **Measurement of room acoustic parameters –Part 2: Reverberation time in ordinary rooms**. Switzerland, 2008.

ALVES, L. R. **Qualidade Acústica de Salas de Aula: Análise nas instituições federais de ensino superior de Natal/RN**. 2017. 157 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2017.

BISTAFA, Sylvio R.- **Acústica aplicada ao controle do ruído**- São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

BRASILEIRO, Tamáris da Costa. **Mapeamento sonoro: Estudo do ruído urbano no bairro Castelo Branco, em João Pessoa/PB**. 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

DE LACERDA, Adriana Bender Moreira; MAGNI, Cristiana; MORATA, Thais Catalani; MARQUES, Jair Mendes; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. **Ambiente Urbano e Percepção da Poluição Sonora**. 2004. 15f. Artigo Acadêmico-Universidade Tuiuti Paraná, Paraná, 200

KOWALTOWSKI, D. **Arquitetura Escolar**. São Paulo: Oficina de Textos. 2011

LOSSO, M. A. F. **Qualidade Acústica de Edificações Escolares em Santa Catarina :avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação**. 168 f. Florianópolis, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MACHADO, Anaxágora Alves. **Poluição Sonora como Crime Ambiental**. Disponível em: <<http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=5261>> Acesso em: 20/09/2017.

MATEUS, D. **Acústica de Edifícios e Controle de Ruído**. 2008

PAIXÃO, D. X. et al. **Ruído ambiental e sua influência no processo ensino aprendizagem, a partir da relação saúde/doença em alunos de primeiro grau de escola da rede pública municipal de Santa Maria – RS**. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1, 1998, Anais... Florianópolis, 1998.

PEREZ, M. **Poluição Sonora- Crime Ambiental**. 2017. Disponível em: <<https://www2.unesp.br/portal#!debate-academico/poluicao-sonora---crime-ambiental/>>. Acesso em < 17/04/2019>

Revista Lancet. **Organização Mundial da Saúde considera poluição sonora, um problema de saúde pública**. Disponível em:<<http://www.proacustica.org.br/publicacoes/artigos-sobre-acustica-e-temas-relacionados/oms-considera-poluição-sonoraproblema-de-saude-publica.html>>. Acesso em: 23/10/2017.

SILVA, P. **Acústica Arquitetônica e condicionamento do ar**. 6ª Edição. Belo Horizonte: Empresa Termo Acústica Ltda. 2011

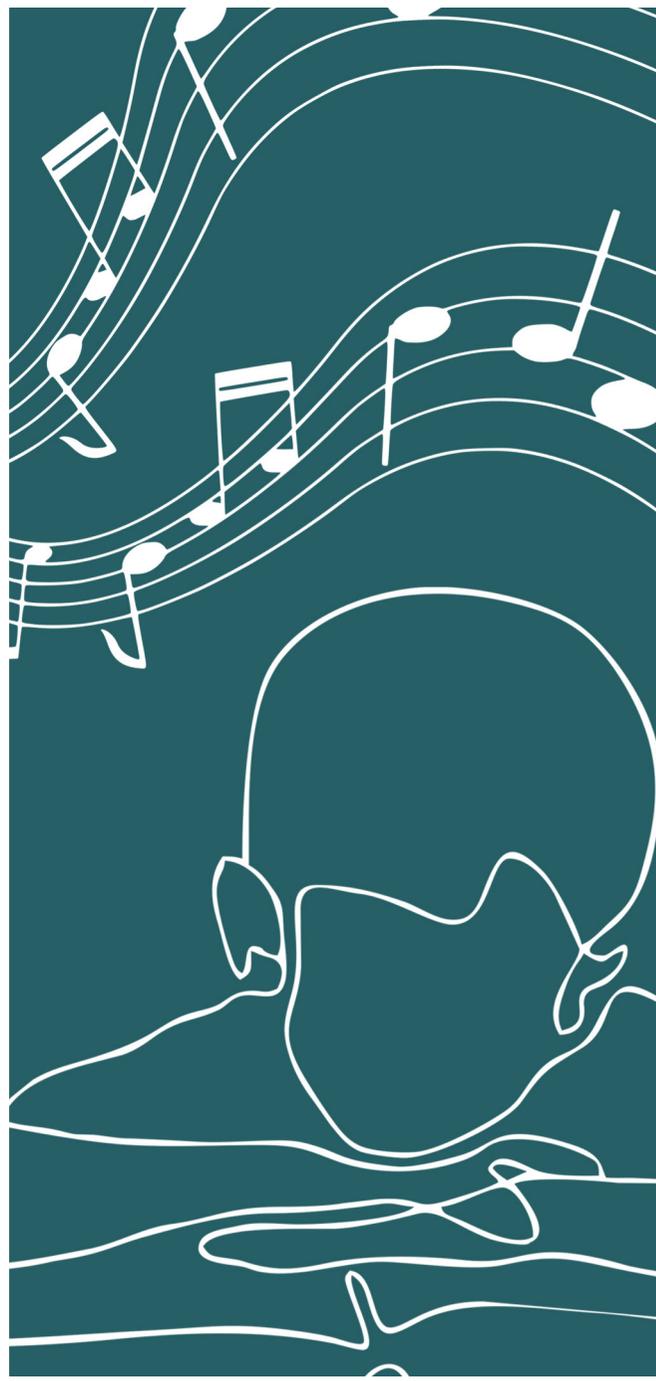
Simões-Zenari M et al. **Efeito do ruído na voz dos educadores**. Revista Saúde Pública. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012

SOUZA, Léa Cristina Lucas de et al. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a Arquitetura**. São Carlos: EdUFSCar, 2013

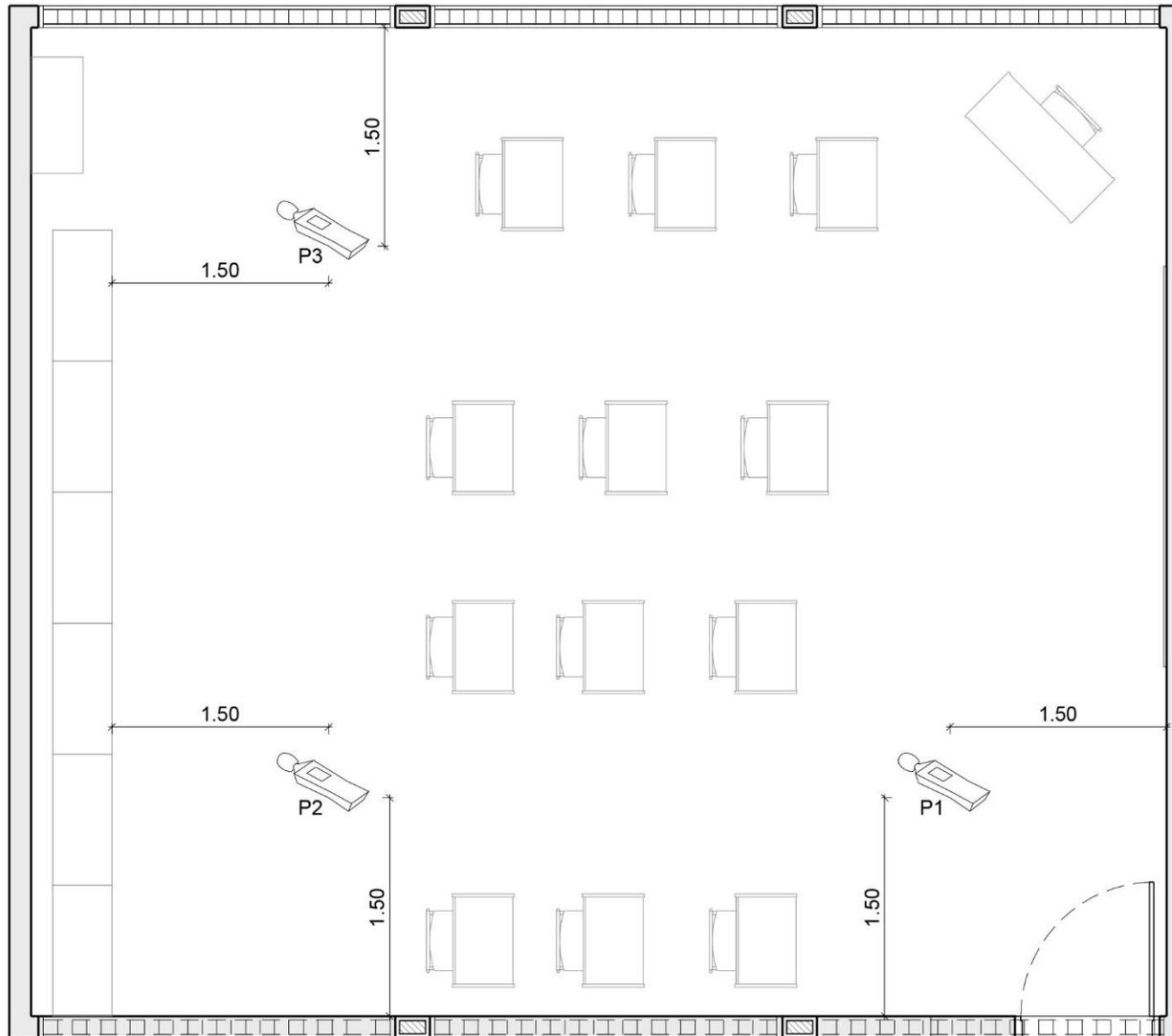
TAVARES, M. S. de A. **Um panorama dos níveis de ruído para conforto acústico de ambientes de ensino com VDT em áreas das regiões brasileiras**.2016. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.



# APÊNDICE



# Planta Baixa de pontos do Nível de Pressão Sonora - Sala 01



**PLANTA BAIXA** PONTOS NPS  
SALA 01

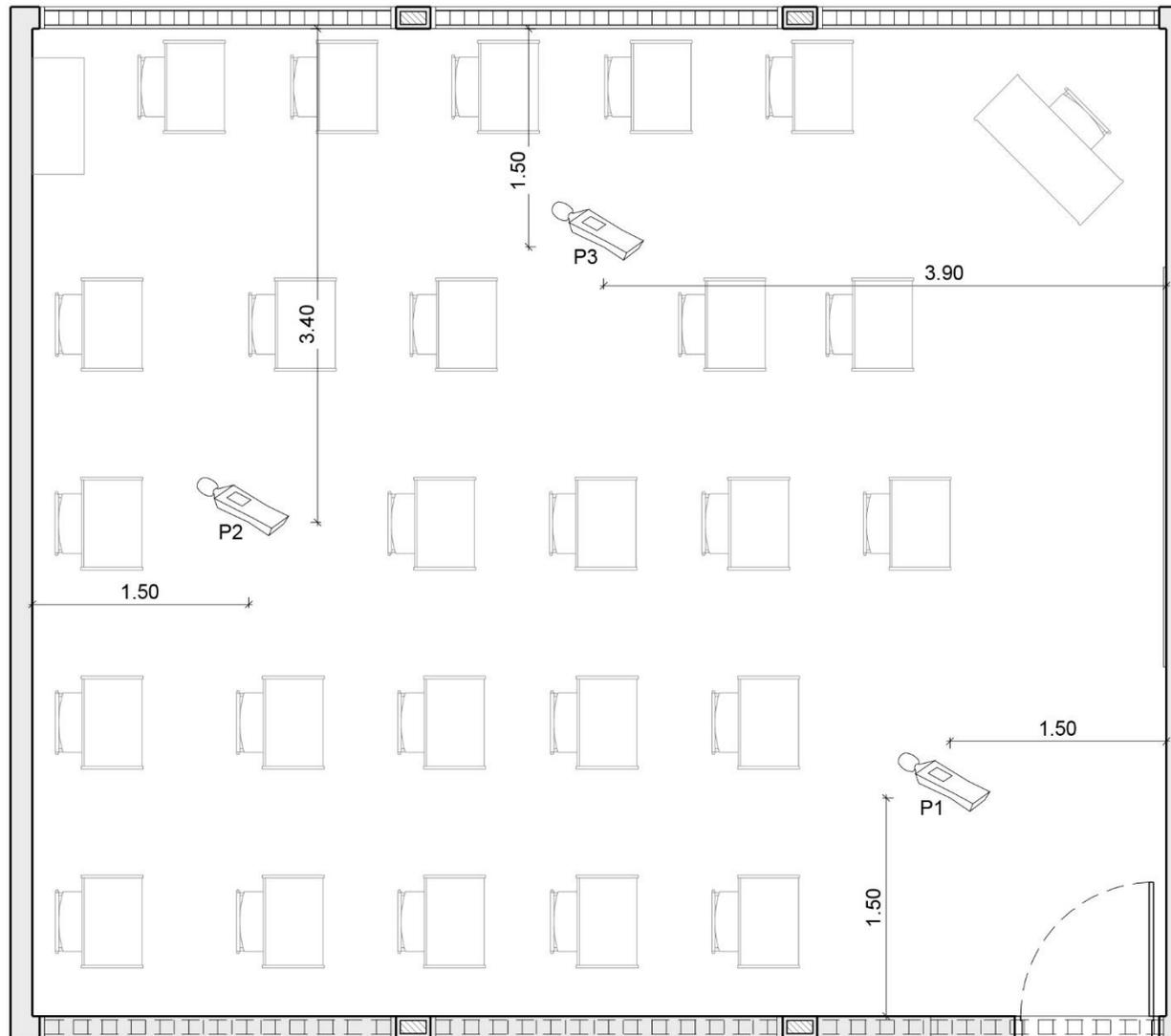


**LEGENDA**

 Posição de medição sonómetro

0 0.5 1 1.5 m

# Planta Baixa de pontos do Nível de Pressão Sonora - Sala 02

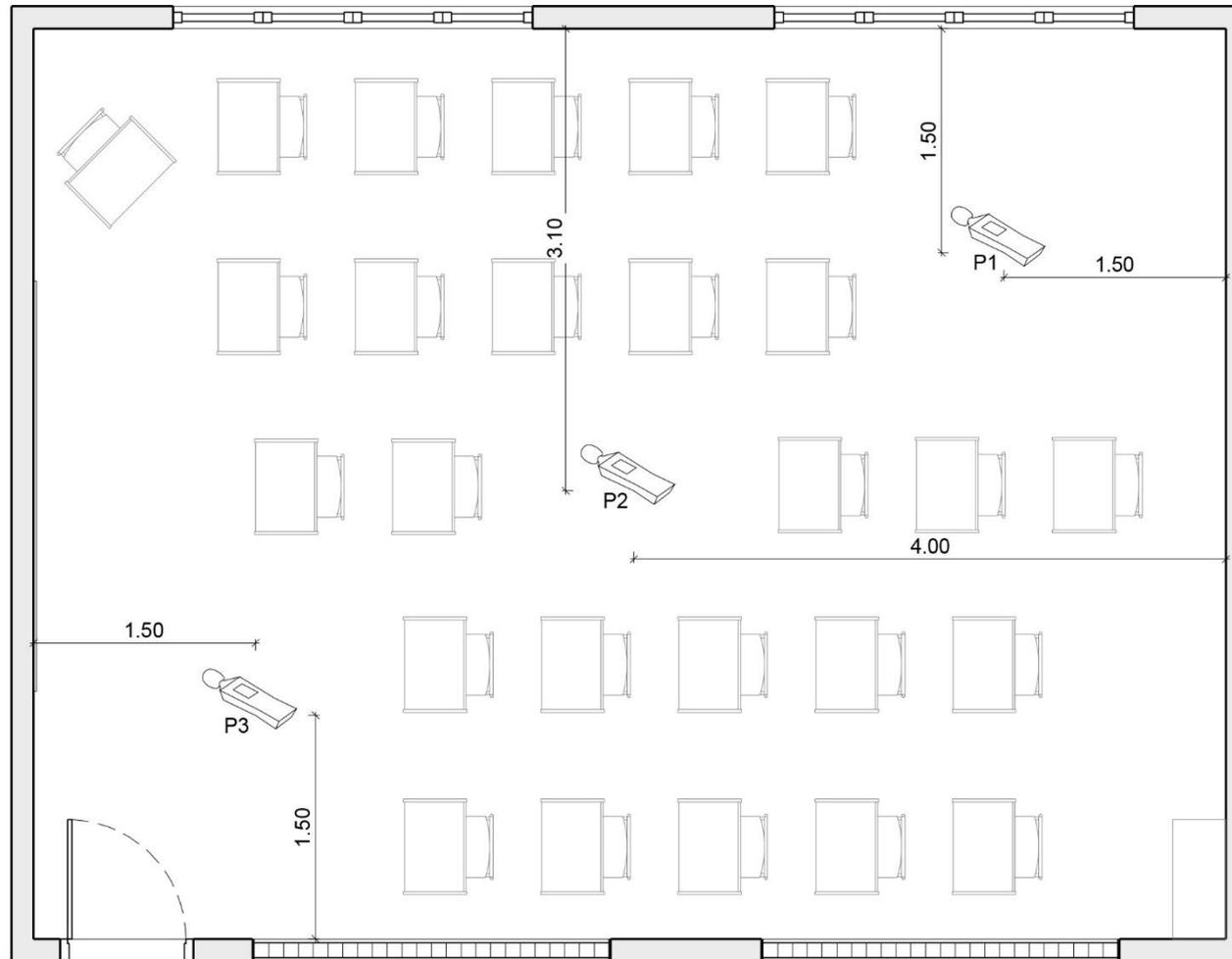


**PLANTA BAIXA** PONTOS NPS  
SALA 02



LEGENDA	
	Posição de medição sonômetro
	
0	0.5 1 1.5 m

# Planta Baixa de pontos do Nível de Pressão Sonora - Sala 03



**PLANTA BAIXA** PONTOS NPS  
SALA 03

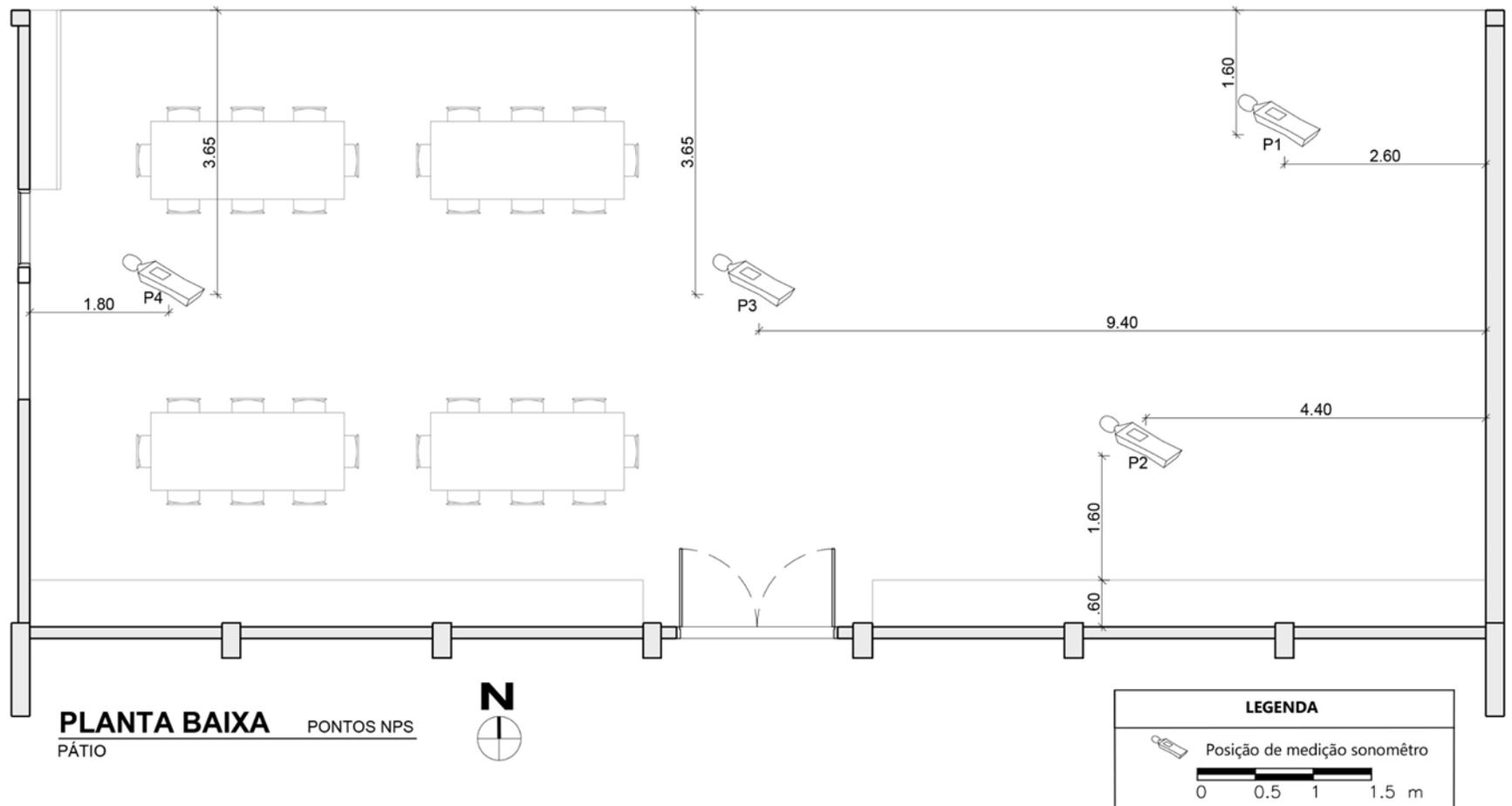


**LEGENDA**

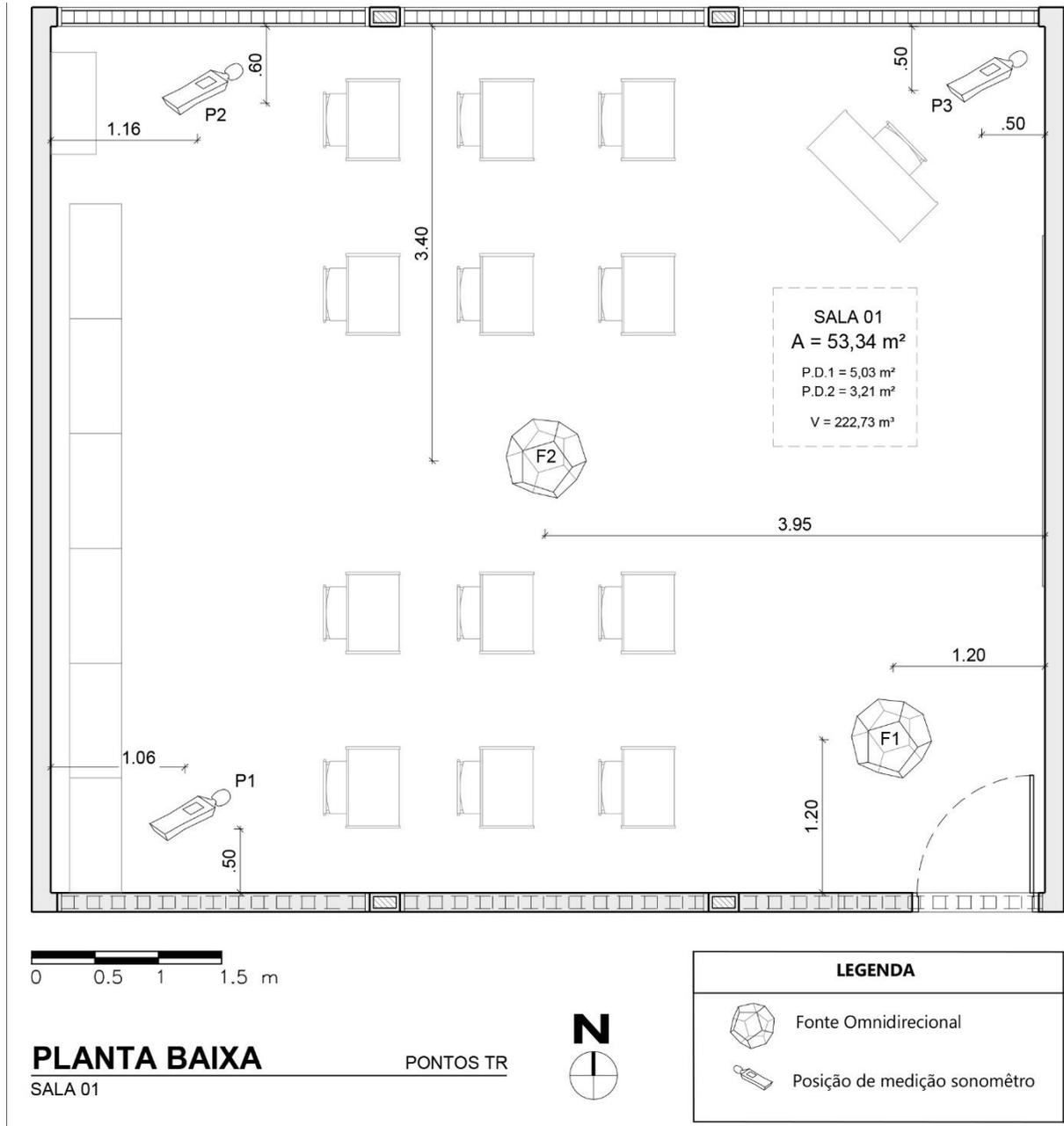
 Posição de medição sonómetro

0 0.5 1 1.5 m

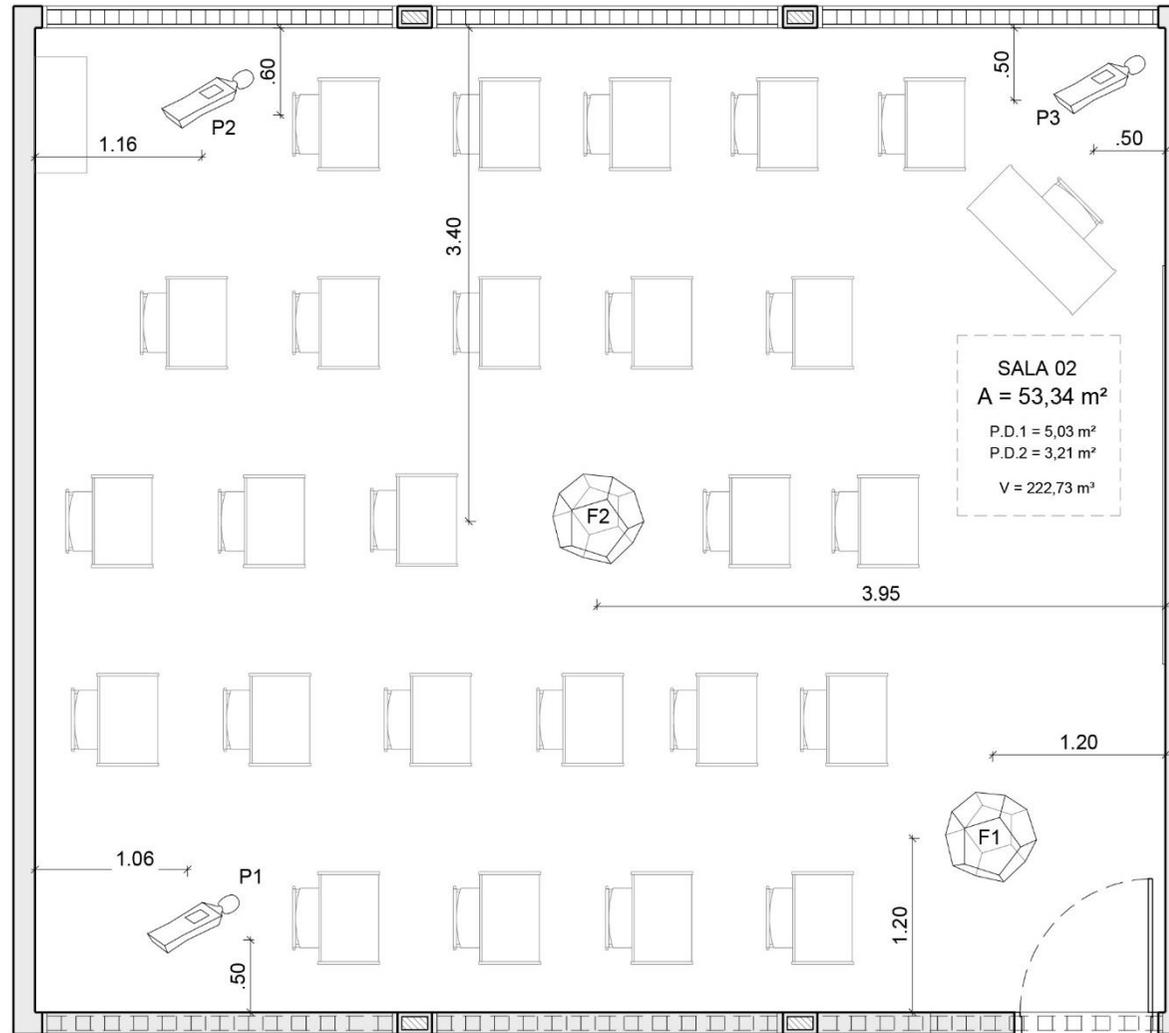
# Planta Baixa de pontos do Nível de Pressão Sonora - Pátio



# Planta Baixa de pontos do Tempo de Reverberação - Sala 01



# Planta Baixa de pontos do Tempo de Reverberação - Sala 02



**PLANTA BAIXA**  
 SALA 02

PONTOS TR



**LEGENDA**

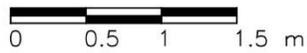
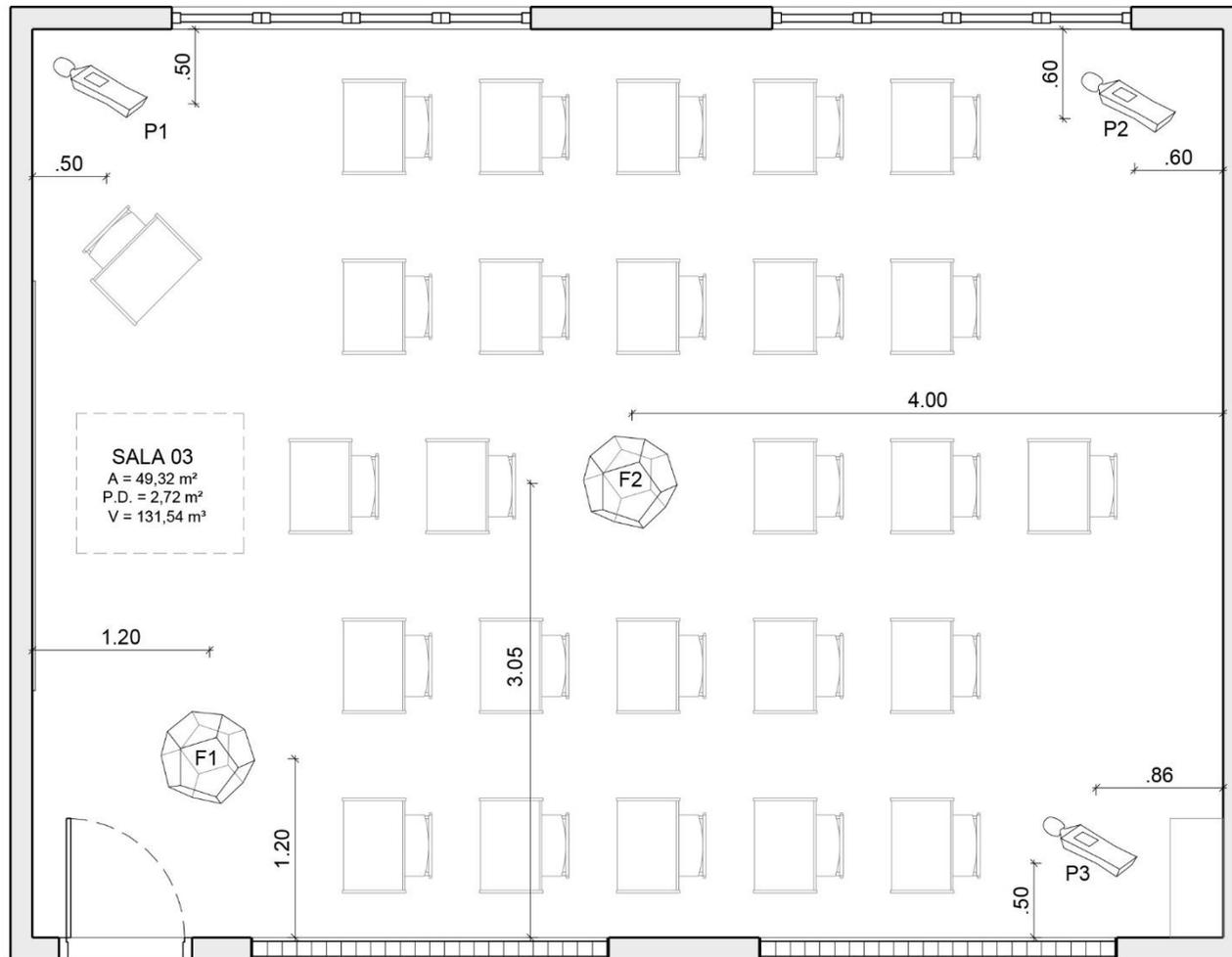


Fonte Omnidirecional



Posição de medição sonômetro

# Planta Baixa de pontos do Tempo de Reverberação - Sala 03



**PLANTA BAIXA**  
SALA 03

PONTOS TR



LEGENDA	
	Fonte Omnidirecional
	Posição de medição sonomêtro

## Planilha do Nível de Pressão Sonora

Nível de pressão sonora na Sala 01			
Terça 8:30 h			
Intervalo de tempo (s)	Nível de pressão sonora (dBA)		
	P1	P2	P3
10	79,5	75,7	69,7
20	75,6	67,2	67,2
30	76,1	73	64,7
40	69,6	64,3	66,7
50	71,1	73	65,5
60	74,5	64,3	70,7
70	75,2	77,5	67,2
80	68,6	71,1	65
90	75,4	63,8	70,8
100	75,9	67,4	67,3
110	69,3	65,6	66,7
120	73,6	64,8	68,9
130	71,5	72,4	66
140	70,5	64,6	67,9
150	72,6	72,4	68,7
160	76,2	62,7	66,2
170	76,8	67,9	68,6
180	72,6	67,3	71
190	75,8	74,9	63,2
200	78,9	58,4	68
210	72,7	61,1	69,7
220	72,9	75	67,1
230	78,7	63,7	67,6
240	79,1	64,5	67,3
250	75,2	65,3	66,2
260	71,7	77,8	68,2
270	74,1	71,3	73,6
280	70,8	66,2	71,9
290	72,8	71,3	65,8
300	73,9	62,4	76,5
<b>Leq (dBA)</b>	75	71	69
<b>Leq (dBA)</b>	<b>71,66666667</b>		

Nível de pressão sonora na Sala 02			
Terça 9:00 h			
Intervalo de tempo (s)	Nível de pressão sonora (dBA)		
	P1	P2	P3
10	86,9	74,5	74,5
20	76	77,7	71
30	69,7	66,1	73,7
40	70,5	73,4	72
50	76,9	68,3	71,2
60	77,5	77,2	70,8
70	78,6	76,6	73
80	72,7	75	72
90	78,3	78,7	77,2
100	73,5	76,4	72,1
110	80,5	75,8	76,1
120	69,1	77,7	76,8
130	80,1	80,8	88,2
140	75,2	77,4	80,3
150	76,9	69,8	80,7
160	78,9	74,3	79,9
170	78,8	76,8	79,8
180	76,4	74,5	72,6
190	78,1	71,4	72,5
200	73,2	78,2	73,3
210	75,9	75,6	73,9
220	76,6	69,3	72,3
230	76,5	74,9	75,5
240	81,5	78,7	69
250	71,2	73,7	72,7
260	73,7	72,7	78,9
270	75,1	77,3	72,9
280	74,7	76,8	70,7
290	76,6	80,5	78,5
300	70,9	76,5	77,5
<b>Leq (dBA)</b>	78	76	78
<b>Leq (dBA)</b>	<b>77,33333333</b>		

Nível de pressão sonora na Sala 03			
Terça 9:00 h			
Intervalo de tempo (s)	Nível de pressão sonora (dBA)		
	P1	P2	P3
10	74,1	79,2	75
20	77,3	73,8	71,7
30	80,2	78	71,7
40	85,3	78,2	72,6
50	87,7	82,4	78,1
60	82	82,8	72,8
70	84,3	80,5	73,4
80	75,2	74,6	74,5
90	75,4	70,7	70,2
100	67	67,5	80,5
110	78,4	77	68,7
120	79,5	66,2	76,3
130	74,4	78,6	72,6
140	80,5	72,1	70
150	77,5	68,8	68,7
160	74,9	75,6	74
170	80,5	70,7	73,2
180	81,3	70,7	73,9
190	79,8	72,2	70,7
200	92,3	78,9	79,2
210	72	74,9	81
220	82,5	74,7	81,6
230	81,1	74,7	76,8
240	76,5	72,5	81,2
250	73,5	76,4	69,2
260	71,2	70,6	79,6
270	74,1	64,9	78,7
280	73,8	74,4	70,6
290	70,3	74,9	80,2
300	69,3	74,5	74,6
<b>Leq (dBA)</b>	82	76	77
<b>Leq (dBA)</b>	<b>78,33333333</b>		

Nível de pressão sonora na Sala 01			
Quarta 8:00 h			
Intervalo de tempo (s)	Nível de pressão sonora (dBA)		
	P1	P2	P3
10	67,8	65,5	67,2
20	67	67,3	68,5
30	66,1	62,8	73,4
40	67	63,6	65,9
50	68,8	63,4	63,9
60	67,1	66,8	65,8
70	63,1	67	65,4
80	61,3	63,2	68,2
90	69,4	62,5	71,2
100	69,2	65	70,6
110	69,9	62,8	66,5
120	71,8	70,7	65
130	69	63,3	71,2
140	62,9	63,2	68,1
150	68,9	67,5	69,6
160	77	64,8	66
170	65,9	64,7	69,1
180	71,2	71,9	66,7
190	72,8	67,6	72
200	71,2	67,8	65
210	66,1	66,9	70,6
220	69,9	68,8	70,5
230	69,6	65,3	66,1
240	68,2	69	65,5
250	66,2	65,1	69,3
260	66,5	66,2	70,5
270	66,1	66,1	68,6
280	69,8	70,6	68,2
290	67	64,5	70,1
300	63,8	64,6	66,4
<b>Leq (dBA)</b>	69	67	69
<b>Leq (dBA)</b>	<b>68,33333333</b>		

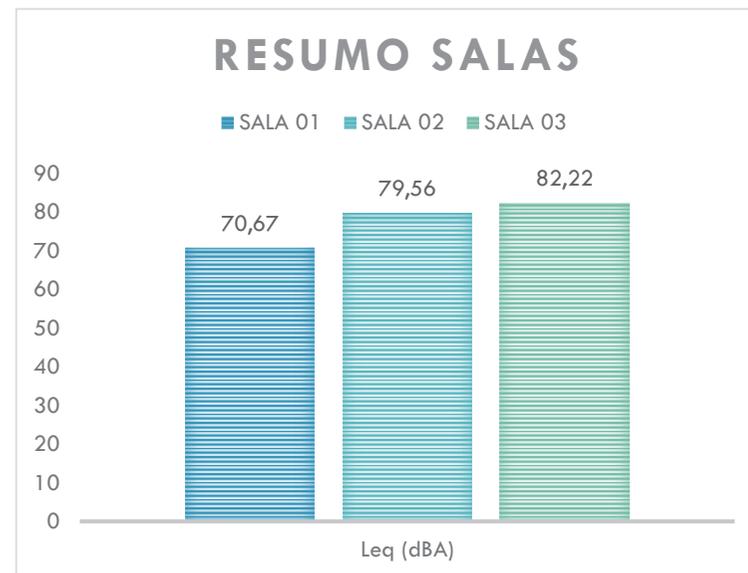
Nível de pressão sonora na Sala 02			
Quarta 9:00 h			
Intervalo de tempo (s)	Nível de pressão sonora (dBA)		
	P1	P2	P3
10	76,5	72,1	78,6
20	78	71,9	75,4
30	78,8	82,9	83,3
40	79,5	81,6	66,8
50	83,7	79,8	79,8
60	80,6	78,5	73
70	82,7	81,5	83,2
80	90,4	80,6	80,7
90	84,8	71,6	76,7
100	78,7	78,1	80
110	73,5	75,5	78,5
120	77	80,6	78,9
130	75,2	79,7	76,5
140	68,8	71,6	80,5
150	80,6	81,3	80,4
160	78,7	88,1	80,5
170	80,8	75,4	70,7
180	86,5	78,1	77,4
190	87,7	74,5	85,6
200	77,3	80,3	77,1
210	80,5	77,3	84,8
220	87,2	71,9	93,8
230	71	75,8	86,9
240	74,2	70,3	81,2
250	80	78,3	77,7
260	78,3	77,2	83,2
270	77,6	78,7	78,8
280	74,5	81,8	72,2
290	80,2	72	83,4
300	82,9	83,8	85,2
<b>Leq (dBA)</b>	82	80	83
<b>Leq (dBA)</b>	<b>81,66666667</b>		

Nível de pressão sonora na Sala 03			
Quarta 10:00 h			
Intervalo de tempo (s)	Nível de pressão sonora (dBA)		
	P1	P2	P3
10	80,9	78,6	80
20	80,8	79,1	82,9
30	88,7	78,4	79,6
40	87	82,5	84,3
50	84,9	79,7	78,7
60	84,1	80,4	81,6
70	70,8	70,3	73,4
80	86,4	78,2	74,2
90	84,4	76,9	83,1
100	79,2	70,4	78,3
110	81,7	78,5	77,4
120	78,7	85,1	82,3
130	80,6	84,2	71,2
140	86,5	83,9	73,4
150	82,3	70,8	83,5
160	71,9	66,5	73,3
170	73,1	67,4	83,4
180	69,7	68,4	73,5
190	77,1	79,8	76,7
200	79,5	75,5	81,8
210	76,3	78,7	78,4
220	73,3	78,9	83,4
230	70,3	86,9	85,3
240	74,6	85,8	82,6
250	71,7	72,7	88,1
260	71,9	76,9	86,7
270	80,6	84	85,1
280	81,4	81,4	81,8
290	80,6	84,1	88
300	67,5	79,4	85,7
<b>Leq (dBA)</b>	82	81	83
<b>Leq (dBA)</b>	<b>82</b>		

Nível de pressão sonora na Sala 01			
Quinta 8:00 h			
Intervalo de tempo (s)	Nível de pressão sonora (dBA)		
	P1	P2	P3
10	66,6	63,2	71,8
20	67,6	63,1	65,3
30	67,5	64,3	69
40	66	65,9	61,2
50	68,5	68,9	61,5
60	62	66,4	61,8
70	62,5	63,4	63,4
80	59,7	63,7	62,1
90	65	66	70,6
100	64,2	67,6	65,9
110	62,2	62,7	66,6
120	70,5	74,5	61,3
130	63,2	69,3	72,4
140	68,5	62,4	64,5
150	67,5	67,8	70,5
160	61,4	68,7	65,7
170	68,8	72,1	62,3
180	63,4	70,3	63,9
190	67,7	70,3	64,6
200	77,1	64,8	77,6
210	62,9	72	67
220	69,7	67,1	61,5
230	65,8	65	61,1
240	67,4	68,6	62,8
250	69,6	66,2	61,2
260	68	69,7	75,7
270	88,4	73,1	75,9
280	69,7	79,5	79,5
290	60,6	74,1	61,5
300	66	71,5	72,9
<b>Leq (dBA)</b>	75	70	71
<b>Leq (dBA)</b>	<b>72</b>		

Nível de pressão sonora na Sala 02			
Quinta 9:00 h			
Intervalo de tempo (s)	Nível de pressão sonora (dBA)		
	P1	P2	P3
10	77,6	81,8	74,9
20	76	77,2	69,3
30	78,2	80,5	74,5
40	79,5	74,5	80
50	80,7	76,1	73,9
60	79,2	75,2	85,4
70	80,8	72,8	75,5
80	83,2	63,9	78,9
90	82,4	80	71,7
100	84	77	88,2
110	86,6	79,6	77,1
120	81,9	72,7	79,6
130	75,6	83,5	79,6
140	79,6	81	78,6
150	78,8	80,9	82,4
160	78,2	79,2	75,6
170	80,2	79,7	75,3
180	80,5	74,5	73,6
190	77,1	71	79,2
200	88,6	75	74,4
210	73,7	80,5	82,4
220	77	74,3	74
230	79,2	80	78,6
240	75,3	75,2	75,5
250	76,6	76,4	81,7
260	74,9	75,6	79
270	82,8	73	71,5
280	74,5	77,5	77,1
290	86,3	76,1	82,6
300	75	72,9	82,9
<b>Leq (dBA)</b>	81	78	80
<b>Leq (dBA)</b>	<b>79,6666667</b>		

Nível de pressão sonora na Sala 03			
Quinta 10:00 h			
Intervalo de tempo (s)	Nível de pressão sonora (dBA)		
	P1	P2	P3
10	78,5	80,9	90,5
20	81,7	90,2	81,1
30	82,4	82,8	86,9
40	80,3	72,4	87,9
50	82,3	84,8	83,4
60	83,5	87,4	86,2
70	83,7	80,8	77,5
80	82,7	77,8	74,1
90	84,5	78	79,8
100	87,6	83,2	90,9
110	85,7	90,3	90,9
120	80,3	87,6	86,2
130	88,8	85,7	92
140	85,3	76,5	82,2
150	77,4	88,6	90,6
160	85,2	74	82,2
170	83,5	78,6	90,1
180	84,9	81,9	90,9
190	90,4	79,6	84,7
200	87,5	85,4	86,2
210	89,1	90,7	90,2
220	82,9	80,4	79
230	82,6	87,2	79,3
240	85,5	79,6	75,9
250	94,5	82,5	84,3
260	88,6	81,4	88,1
270	87,4	77,3	80,3
280	79,6	88,1	88,6
290	76,2	92,8	78,7
300	81,5	85	78,6
<b>Leq (dBA)</b>	86	86	87
<b>Leq (dBA)</b>	<b>86,33333333</b>		



## Planilha de Tempo de Reverberação Sala 01

PLANILHA DE CÁLCULO TEMPO DE REVERBERAÇÃO															Fonte:
MATERIAIS - PESSOAS - OBJETOS			ABSORÇÕES												
DESCRIÇÃO	Quant.	Áreas	a	A 125	a	A 250	a	A 500	a	A1000	a	A2000	a	A4000	
Alvenaria Pintada		82,65	0,01	0,83	0,01	0,83	0,02	1,65	0,02	1,65	0,02	1,65	0,02	1,65	DeMarco (1940)
Lousa Branca		3,3	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,07	0,02	0,07	Awad et al. (2012)
Piso em Granilite		53,35	0,01	0,53	0,01	0,53	0,01	0,53	0,02	1,07	0,02	1,07	0,02	1,07	Carvalho (2006)
Porta Madeira Pintada		2,1	0,2	0,42	0,15	0,32	0,1	0,21	0,1	0,21	0,09	0,19	0,11	0,23	NBr 12.179
Estante de Livro	1	4,32	0,11	0,48	0,33	1,43	0,9	3,89	0,6	2,59	0,79	3,41	0,68	2,94	Carvalho (2006)
Cadeira Escolar	13		0,03	0,39	0,01	0,13	0,03	0,39	0,02	0,26	0,03	0,39	0,03	0,39	Carvalho (2006)
Mesas Escolares	13x0,3	4	0,02	0,08	0,02	0,08	0,03	0,12	0,04	0,16	0,06	0,24	0,08	0,32	Instituto Politecnico
Teto		51	0,02	1,02	0,03	1,53	0,03	1,53	0,03	1,53	0,04	2,04	0,07	3,57	Awad et al. (2012)
Vigas		18,9	0,02	0,378	0,02	0,378	0,03	0,567	0,04	0,756	0,03	0,567	0,03	0,567	NBr 12.179
Armários de Metal	6x4,60	27,6	0,05	1,38	0,1	2,76	0,1	2,76	0,1	2,76	0,07	1,932	0,02	0,552	Awad et al. (2012)
Cobogós (Cerâmica)		12,4	0,01	0,124	0,01	0,124	0,01	0,124	0,02	0,248	0,02	0,248	0,02	0,248	Carvalho (2006)
<b>VOLUME (m3) = 222,73</b>	S =	259,62	A=	5,66	A=	8,14	A=	11,81	A=	11,27	A=	11,80	A=	11,60	
			a <sub>medio</sub> =	0,02	a <sub>medio</sub> =	0,03	a <sub>medio</sub> =	0,05	a <sub>medio</sub> =	0,04	a <sub>medio</sub> =	0,05	a <sub>medio</sub> =	0,04	
<b>TR EXISTENTE SEM PESSOAS</b>			<b>Treal=</b>	6,34	<b>Treal=</b>	4,41	<b>Treal=</b>	3,04	<b>Treal=</b>	3,18	<b>Treal=</b>	3,04	<b>Treal=</b>	3,09	
<b>TR Ótimo</b>			<b>Totimo=</b>	0,81	<b>Totimo=</b>	0,63	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	

PLANILHA DE CÁLCULO TEMPO DE REVERBERAÇÃO															Fonte:
MATERIAIS - PESSOAS - OBJETOS			ABSORÇÕES												
DESCRIÇÃO	Quant.	Áreas	a	A 125	a	A 250	a	A 500	a	A1000	a	A2000	a	A4000	
Alvenaria Pintada		82,65	0,01	0,83	0,01	0,83	0,02	1,65	0,02	1,65	0,02	1,65	0,02	1,65	DeMarco (1940)
Lousa Branca		3,3	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,07	0,02	0,07	Awad et al. (2012)
Piso em Granilite		53,35	0,01	0,53	0,01	0,53	0,01	0,53	0,02	1,07	0,02	1,07	0,02	1,07	Carvalho (2006)
Porta Madeira Pintada		2,1	0,2	0,42	0,15	0,32	0,1	0,21	0,1	0,21	0,09	0,19	0,11	0,23	NBr 12.179
Estante de Livro	1	4,32	0,11	0,48	0,33	1,43	0,9	3,89	0,6	2,59	0,79	3,41	0,68	2,94	Carvalho (2006)
Cadeira Escolar	26		0,03	0,78	0,01	0,26	0,03	0,78	0,02	0,52	0,03	0,78	0,03	0,78	Carvalho (2006)
Mesas Escolares	13x0,3	4	0,02	0,08	0,02	0,08	0,03	0,12	0,04	0,16	0,06	0,24	0,08	0,32	Instituto Politecnico
Teto		51	0,02	1,02	0,03	1,53	0,03	1,53	0,03	1,53	0,04	2,04	0,07	3,57	Awad et al. (2012)
Vigas		18,9	0,02	0,378	0,02	0,378	0,03	0,567	0,04	0,756	0,03	0,567	0,03	0,567	NBr 12.179
Armários de Metal	6x4,60	27,6	0,05	1,38	0,1	2,76	0,1	2,76	0,1	2,76	0,07	1,932	0,02	0,552	Awad et al. (2012)
Cobogós (Cerâmica)		12,04	0,01	0,1204	0,01	0,1204	0,01	0,1204	0,02	0,2408	0,02	0,2408	0,02	0,2408	Carvalho (2006)
Adolescentes com cadeira	14		0,2	2,8	0,28	3,92	0,32	4,48	0,37	5,18	0,41	5,74	0,44	6,16	NBr 12.179
<b>VOLUME (m3) = 222,73</b>	S =	259,26	A=	8,85	A=	12,18	A=	16,67	A=	16,70	A=	17,93	A=	18,14	
			a <sub>medio</sub> =	0,03	a <sub>medio</sub> =	0,05	a <sub>medio</sub> =	0,06	a <sub>medio</sub> =	0,06	a <sub>medio</sub> =	0,07	a <sub>medio</sub> =	0,07	
<b>TR EXISTENTE COM PESSOAS</b>			<b>Treal=</b>	4,05	<b>Treal=</b>	2,94	<b>Treal=</b>	2,15	<b>Treal=</b>	2,15	<b>Treal=</b>	2,00	<b>Treal=</b>	1,98	
<b>TR Ótimo</b>			<b>Totimo=</b>	0,81	<b>Totimo=</b>	0,63	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	

## Planilha de Tempo de Reverberação Sala 02

PLANILHA DE CÁLCULO TEMPO DE REVERBERAÇÃO															
MATERIAIS - PESSOAS - OBJETOS			ABSORÇÕES											Fonte:	
DESCRIÇÃO	Quant.	Áreas	a	A 125	a	A 250	a	A 500	a	A1000	a	A2000	a		A4000
Alvenaria Pintada		82,65	0,01	0,83	0,01	0,83	0,02	1,65	0,02	1,65	0,02	1,65	0,02	1,65	DeMarco (1940)
Lousa Branca		3,3	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,07	0,02	0,07	Awad et al. (2012)
Piso em Granilite		53,35	0,01	0,53	0,01	0,53	0,01	0,53	0,02	1,07	0,02	1,07	0,02	1,07	Carvalho (2006)
Porta Madeira Pintada		2,1	0,2	0,42	0,15	0,32	0,1	0,21	0,1	0,21	0,09	0,19	0,11	0,23	NBr 12.179
Estante de Livro	1	4,32	0,11	0,48	0,33	1,43	0,9	3,89	0,6	2,59	0,79	3,41	0,68	2,94	Carvalho (2006)
Cadeira Escolar	26		0,03	0,78	0,01	0,26	0,03	0,78	0,02	0,52	0,03	0,78	0,03	0,78	Carvalho (2006)
Mesas Escolares	26x0,3	7,8	0,02	0,156	0,02	0,156	0,03	0,234	0,04	0,312	0,06	0,468	0,08	0,624	Instituto Politecnico
Teto		51	0,02	1,02	0,03	1,53	0,03	1,53	0,03	1,53	0,04	2,04	0,07	3,57	Awad et al. (2012)
Vigas		18,9	0,02	0,378	0,02	0,378	0,03	0,567	0,04	0,756	0,03	0,567	0,03	0,567	NBr 12.179
Armários de Metal	6x4,60	27,6	0,05	1,38	0,1	2,76	0,1	2,76	0,1	2,76	0,07	1,932	0,02	0,552	Awad et al. (2012)
Cobogós (Cerâmica)		12,4	0,01	0,124	0,01	0,124	0,01	0,124	0,02	0,248	0,02	0,248	0,02	0,248	Carvalho (2006)
<b>VOLUME (m3) = 222,73</b>	S =	263,42	A=	6,13	A=	8,34	A=	12,31	A=	11,68	A=	12,42	A=	12,30	
			a <sub>medio</sub> =	0,02	a <sub>medio</sub> =	0,03	a <sub>medio</sub> =	0,05	a <sub>medio</sub> =	0,04	a <sub>medio</sub> =	0,05	a <sub>medio</sub> =	0,05	
<b>TR EXISTENTE SEM PESSOAS</b>			<b>Treal=</b>	5,85	<b>Treal=</b>	4,30	<b>Treal=</b>	2,91	<b>Treal=</b>	3,07	<b>Treal=</b>	2,89	<b>Treal=</b>	2,92	
<b>TR Ótimo</b>			<b>Totimo=</b>	0,81	<b>Totimo=</b>	0,63	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	

PLANILHA DE CÁLCULO TEMPO DE REVERBERAÇÃO															
MATERIAIS - PESSOAS - OBJETOS			ABSORÇÕES											Fonte:	
DESCRIÇÃO	Quant.	Áreas	a	A 125	a	A 250	a	A 500	a	A1000	a	A2000	a		A4000
Alvenaria Pintada		82,65	0,01	0,83	0,01	0,83	0,02	1,65	0,02	1,65	0,02	1,65	0,02	1,65	DeMarco (1940)
Lousa Branca		3,3	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,07	0,02	0,07	Awad et al. (2012)
Piso em Granilite		53,35	0,01	0,53	0,01	0,53	0,01	0,53	0,02	1,07	0,02	1,07	0,02	1,07	Carvalho (2006)
Porta Madeira Pintada		2,1	0,2	0,42	0,15	0,32	0,1	0,21	0,1	0,21	0,09	0,19	0,11	0,23	NBr 12.179
Estante de Livro	1	4,32	0,11	0,48	0,33	1,43	0,9	3,89	0,6	2,59	0,79	3,41	0,68	2,94	Carvalho (2006)
Cadeira Escolar	13		0,03	0,39	0,01	0,13	0,03	0,39	0,02	0,26	0,03	0,39	0,03	0,39	Carvalho (2006)
Mesas Escolares	26x0,3	7,8	0,02	0,156	0,02	0,156	0,03	0,234	0,04	0,312	0,06	0,468	0,08	0,624	Instituto Politecnico
Teto		51	0,02	1,02	0,03	1,53	0,03	1,53	0,03	1,53	0,04	2,04	0,07	3,57	Awad et al. (2012)
Vigas		18,9	0,02	0,378	0,02	0,378	0,03	0,567	0,04	0,756	0,03	0,567	0,03	0,567	NBr 12.179
Armários de Metal	6x4,60	27,6	0,05	1,38	0,1	2,76	0,1	2,76	0,1	2,76	0,07	1,932	0,02	0,552	Awad et al. (2012)
Cobogós (Cerâmica)		12,04	0,01	0,1204	0,01	0,1204	0,01	0,1204	0,02	0,2408	0,02	0,2408	0,02	0,2408	Carvalho (2006)
Adolescentes com cadeira	25		0,2	5	0,28	7	0,32	8	0,37	9,25	0,41	10,25	0,44	11	NBr 12.179
<b>VOLUME (m3) = 222,73</b>	S =	263,06	A=	10,73	A=	15,21	A=	19,92	A=	20,66	A=	22,28	A=	22,90	
			a <sub>medio</sub> =	0,04	a <sub>medio</sub> =	0,06	a <sub>medio</sub> =	0,08	a <sub>medio</sub> =	0,08	a <sub>medio</sub> =	0,08	a <sub>medio</sub> =	0,09	
<b>TR EXISTENTE COM PESSOAS</b>			<b>Treal=</b>	3,34	<b>Treal=</b>	2,36	<b>Treal=</b>	1,80	<b>Treal=</b>	1,74	<b>Treal=</b>	1,61	<b>Treal=</b>	1,57	
<b>TR Ótimo</b>			<b>Totimo=</b>	0,81	<b>Totimo=</b>	0,63	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	

# Planilha de Tempo de Reverberação Sala 03

PLANILHA DE CÁLCULO TEMPO DE REVERBERAÇÃO															
MATERIAIS - PESSOAS - OBJETOS			ABSORÇÕES												Fonte:
DESCRIÇÃO	Quant.	Áreas	a	A 125	a	A 250	a	A 500	a	A1000	a	A2000	a	A4000	
Alvenaria Pintada		59,85	0,01	0,60	0,01	0,60	0,02	1,20	0,02	1,20	0,02	1,20	0,02	1,20	DeMarco (1940)
Lousa Branca		3,3	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,07	0,02	0,07	Awad et al. (2012)
Piso em Granilite		50	0,01	0,50	0,01	0,50	0,01	0,50	0,02	1,00	0,02	1,00	0,02	1,00	Carvalho (2006)
Porta Madeira Pintada		1,89	0,2	0,38	0,15	0,28	0,1	0,19	0,1	0,19	0,09	0,17	0,11	0,21	NBr 12.179
Estante de Metal	1	1,8	0,05	0,09	0,1	0,18	0,1	0,18	0,1	0,18	0,07	0,13	0,02	0,04	Carvalho (2006)
Cadeira Escolar	26		0,03	0,78	0,01	0,26	0,03	0,78	0,02	0,52	0,03	0,78	0,03	0,78	Carvalho (2006)
Mesas Escolares	26x0,3	7,8	0,02	0,156	0,02	0,156	0,03	0,234	0,04	0,312	0,06	0,468	0,08	0,624	Awad et al. (2012)
Teto Pvc		50	0,03	1,5	0,03	1,5	0,03	1,5	0,03	1,5	0,05	2,5	0,05	2,5	Awad et al. (2012)
Janela Madeira		1,36	0,04	0,0544	0	0	0,03	0,0408	0,03	0,0408	0,03	0,0408	0	0	Carvalho (2006)
Abertura Janela		3,2	1	3,2	1	3,2	1	3,2	1	3,2	1	3,2	1	3,2	NBr 12.179
Cobogós (concreto pintado)		3,8	0,015	0,057	0,018	0,0684	0,022	0,0836	0,022	0,0836	0,025	0,095	0	0	Carvalho (2006)
<b>VOLUME (m3) = 131,54</b>	S =	183,00	A=	7,35	A=	6,78	A=	7,94	A=	8,26	A=	9,64	A=	9,61	
			a <sub>medio</sub> =	0,04	a <sub>medio</sub> =	0,04	a <sub>medio</sub> =	0,04	a <sub>medio</sub> =	0,05	a <sub>medio</sub> =	0,05	a <sub>medio</sub> =	0,05	
<b>TR EXISTENTE SEM PESSOAS</b>			Treal=	2,88	Treal=	3,12	Treal=	2,67	Treal=	2,57	Treal=	2,20	Treal=	2,20	
<b>TR Ótimo</b>			Totimo=	0,74	Totimo=	0,57	Totimo=	0,50	Totimo=	0,50	Totimo=	0,50	Totimo=	0,50	

PLANILHA DE CÁLCULO TEMPO DE REVERBERAÇÃO															
MATERIAIS - PESSOAS - OBJETOS			ABSORÇÕES												Fonte:
DESCRIÇÃO	Quant.	Áreas	a	A 125	a	A 250	a	A 500	a	A1000	a	A2000	a	A4000	
Alvenaria Pintada		59,85	0,01	0,60	0,01	0,60	0,02	1,20	0,02	1,20	0,02	1,20	0,02	1,20	DeMarco (1940)
Lousa Branca		3,3	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,07	0,02	0,07	Awad et al. (2012)
Piso em Granilite		50	0,01	0,50	0,01	0,50	0,01	0,50	0,02	1,00	0,02	1,00	0,02	1,00	Carvalho (2006)
Porta Madeira Pintada		1,89	0,2	0,38	0,15	0,28	0,1	0,19	0,1	0,19	0,09	0,17	0,11	0,21	NBr 12.179
Estante de Metal	1	1,8	0,05	0,09	0,1	0,18	0,1	0,18	0,1	0,18	0,07	0,13	0,02	0,04	Carvalho (2006)
Cadeira Escolar	26		0,03	0,78	0,01	0,26	0,03	0,78	0,02	0,52	0,03	0,78	0,03	0,78	Carvalho (2006)
Mesas Escolares	26x0,3	7,8	0,02	0,156	0,02	0,156	0,03	0,234	0,04	0,312	0,06	0,468	0,08	0,624	Awad et al. (2012)
Crianças Sentada	18		0,18	3,24	0,2	3,6	0,27	4,86	0,3	5,4	0,36	6,48	0,36	6,48	NBr 12.179
Teto Pvc		50	0,03	1,5	0,03	1,5	0,03	1,5	0,03	1,5	0,05	2,5	0,05	2,5	Awad et al. (2012)
Janela Madeira		1,36	0,04	0,0544	0	0	0,03	0,0408	0,03	0,0408	0,03	0,0408	0	0	Carvalho (2006)
Abertura Janela		3,2	1	3,2	1	3,2	1	3,2	1	3,2	1	3,2	1	3,2	NBr 12.179
Cobogós (concreto pintado)		3,8	0,015	0,057	0,018	0,0684	0,022	0,0836	0,022	0,0836	0,025	0,095	0	0	DeMarco (1940)
<b>VOLUME (m3) = 131,54</b>	S =	183,00	A=	10,59	A=	10,38	A=	12,80	A=	13,66	A=	16,12	A=	16,09	
			a <sub>medio</sub> =	0,06	a <sub>medio</sub> =	0,06	a <sub>medio</sub> =	0,07	a <sub>medio</sub> =	0,07	a <sub>medio</sub> =	0,09	a <sub>medio</sub> =	0,09	
<b>TR EXISTENTE SEM PESSOAS</b>			Treal=	2,00	Treal=	2,04	Treal=	1,65	Treal=	1,55	Treal=	1,31	Treal=	1,32	
<b>TR Ótimo</b>			Totimo=	0,74	Totimo=	0,57	Totimo=	0,50	Totimo=	0,50	Totimo=	0,50	Totimo=	0,50	

## Planilha de Tempo de Reverberação Proposta Sala 01 e 02

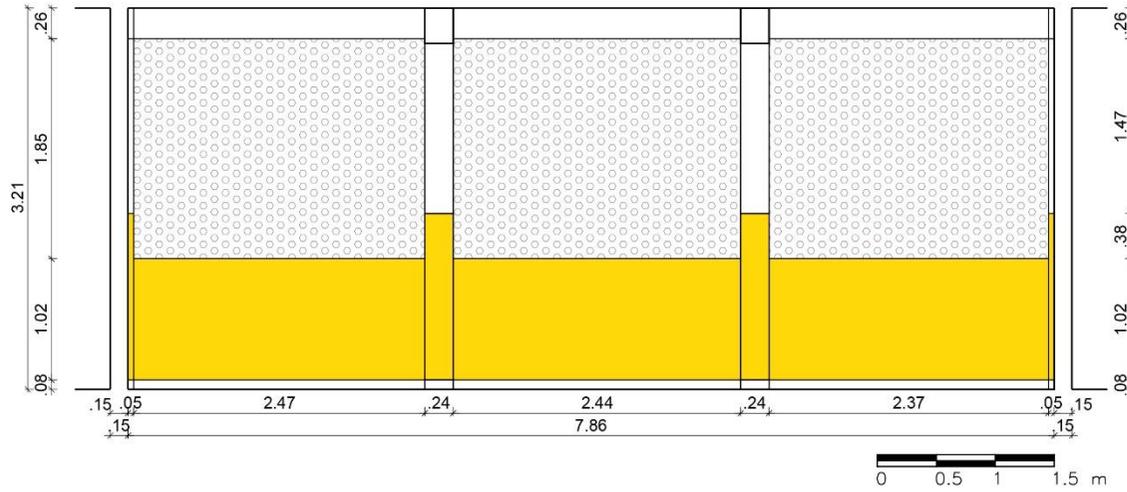
PLANILHA DE CÁLCULO TEMPO DE REVERBERAÇÃO															
MATERIAIS - PESSOAS - OBJETOS				ABSORÇÕES											Fonte:
DESCRIÇÃO	Quant.	Áreas	a	A 125	a	A 250	a	A 500	a	A1000	a	A2000	a	A4000	
Alvenaria Pintada		70,05	0,01	0,70	0,01	0,70	0,02	1,40	0,02	1,40	0,02	1,40	0,02	1,40	DeMarco (1940)
Lousa Branca		3	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,06	0,02	0,06	Awad et al. (2012)
Piso Vinílico		53,35	0,02	1,07	0,03	1,60	0,04	2,13	0,05	2,67	0,05	2,67	0,05	2,67	Zannin (2009)
Janela Madeira com Vidro		14,42	0,25	3,605	0,15	2,163	0,1	1,442	0,05	0,721	0,03	0,4326	0,03	0,4326	Carvalho (2006)
Porta Madeira Pintada		2,3	0,2	0,46	0,15	0,35	0,1	0,23	0,1	0,23	0,09	0,21	0,11	0,25	NBr 12.179
Mesas Escolares	26x0,3	7,8	0,02	0,156	0,02	0,156	0,03	0,234	0,04	0,312	0,06	0,468	0,08	0,624	Awad et al. (2012)
Carreira Estofada	26		0,33	8,58	0,54	14,04	0,56	14,56	0,58	15,08	0,45	11,7	0,44	11,44	Carvalho (2006)
Teto		51	0,02	1,02	0,03	1,53	0,03	1,53	0,03	1,53	0,04	2,04	0,07	3,57	Awad et al. (2012)
Estante de MDF		17,3	0,05	0,865	0	0	0,15	2,595	0,15	2,595	0	0	0,3	5,19	acoustic.ua
Madeira Envernizada		42,32	0,05	2,116	0	0	0,03	1,2696	0,03	1,2696	0,03	1,2696	0	0	Carvalho (2006)
Vigas		18,9	0,02	0,378	0,02	0,378	0,03	0,567	0,04	0,756	0,03	0,567	0,03	0,567	NBr 12.179
Gesso Acartonado Liso		14,62	0,1	1,462	0,08	1,1696	0,05	0,731	0,03	0,4386	0,03	0,4386	0,04	0,5848	Bistafa
Nuvem Quadrada		25,2	0,41	10,332	0,7	17,64	0,91	22,932	0,97	24,444	1,07	26,964	1,05	26,46	Catálogo Trisoft
Nuvem Retangular		9,72	0,42	4,0824	0,73	7,0956	1,08	10,4976	1	9,72	1,13	10,9836	1,19	11,5668	Catálogo Trisoft
Cortiça		6,02	0,1	0,602	-0,125	-0,7525	0,15	0,903	-0,15	-0,903	0,15	0,903	-0,15	-0,903	Carvalho (2006)
Metal		0,66	0,05	0,033	0,1	0,066	0,1	0,066	0,1	0,066	0,07	0,0462	0,02	0,0132	Carvalho (2006)
Vidro		0,97	0,18	0,1746	0,06	0,0582	0,04	0,0388	0,03	0,0291	0,02	0,0194	0,02	0,0194	Carvalho (2006)
Adolescentes sentados	18		0,17	3,06	0,63	11,34	0,47	8,46	0,52	9,36	0,53	9,54	0,46	8,28	NBr 12.179
<b>VOLUME (m3) =</b>	<b>222,73</b>	S =	337,63	A =	38,72	A =	57,56	A =	69,62	A =	69,75	A =	69,71	A =	72,23
			a <sub>medio</sub> =	0,11	a <sub>medio</sub> =	0,17	a <sub>medio</sub> =	0,21	a <sub>medio</sub> =	0,21	a <sub>medio</sub> =	0,21	a <sub>medio</sub> =	0,21	
<b>TR EXISTENTE COM PESSOAS</b>			<b>Treal=</b>	0,93	<b>Treal=</b>	0,62	<b>Treal=</b>	0,52	<b>Treal=</b>	0,51	<b>Treal=</b>	0,51	<b>Treal=</b>	0,50	
<b>TR Ótimo</b>			<b>Totimo=</b>	0,81	<b>Totimo=</b>	0,63	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	<b>Totimo=</b>	0,55	

## Planilha de Tempo de Reverberação Proposta Sala 03

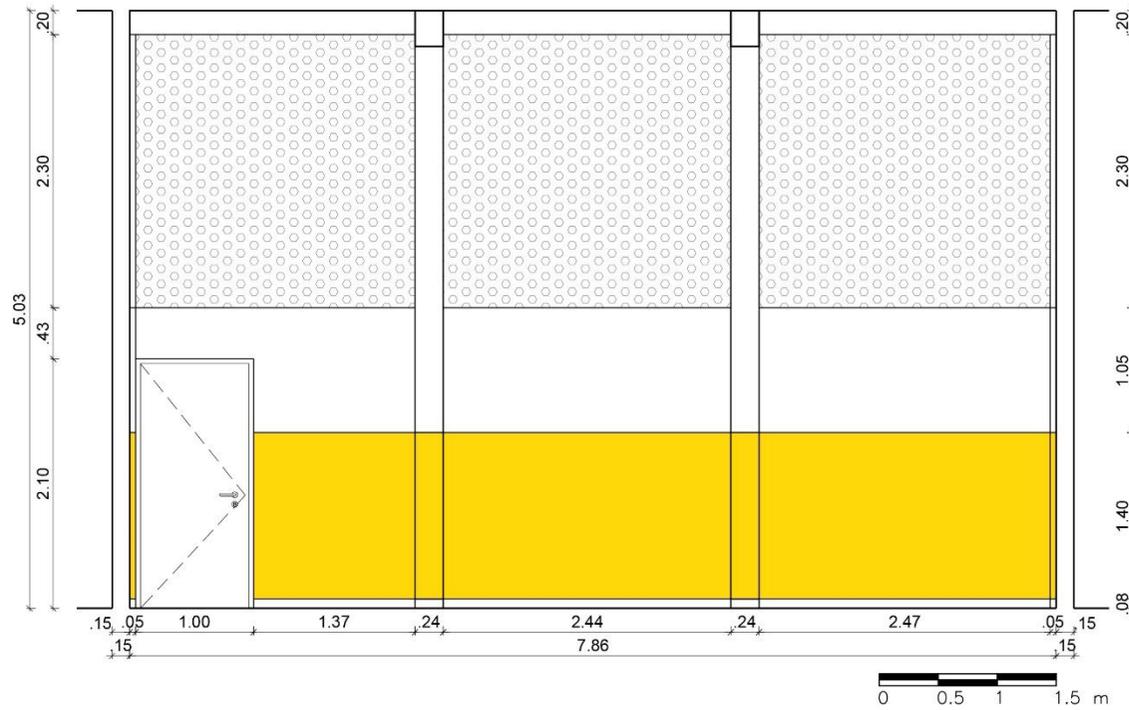
PLANILHA DE CÁLCULO TEMPO DE REVERBERAÇÃO															
MATERIAIS - PESSOAS - OBJETOS				ABSORÇÕES											Fonte:
DESCRIÇÃO	Quant.	Áreas	a	A 125	a	A 250	a	A 500	a	A1000	a	A2000	a	A4000	
Alvenaria Pintada		41,72	0,01	0,42	0,01	0,42	0,02	0,83	0,02	0,83	0,02	0,83	0,02	0,83	DeMarco (1940)
Lousa Branca		3	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,06	0,02	0,06	Awad et al. (2012)
Piso em Granilite		50	0,01	0,50	0,01	0,50	0,01	0,50	0,02	1,00	0,02	1,00	0,02	1,00	Carvalho (2006)
Porta Madeira Pintada		1,89	0,2	0,38	0,15	0,28	0,1	0,19	0,1	0,19	0,09	0,17	0,11	0,21	NBr 12.179
Carteira Escolar Estofada	26		0,33	8,58	0,54	14,04	0,56	14,56	0,58	15,08	0,45	11,7	0,44	11,44	Carvalho (2006)
Teto Forro Gesso Acartonado Liso		25	0,1	2,5	0,08	2	0,05	1,25	0,03	0,75	0,03	0,75	0,04	1	Bistafa
Teto Forro Mineral OWA Janus		22	0,45	9,9	0,65	14,3	0,7	15,4	0,7	15,4	0,8	17,6	0,75	16,5	Catálogo Owa
Estante de MDF		17,3	0,05	0,865	0	0	0,15	2,595	0,15	2,595	0	0	0,3	5,19	acoustic.ua
Janela Madeira com Vidro		9,48	0,25	2,37	0,15	1,422	0,1	0,948	0,05	0,474	0,03	0,2844	0,03	0,2844	Carvalho (2006)
Crianças Sentada	18		0,18	3,24	0,2	3,6	0,27	4,86	0,3	5,4	0,36	6,48	0,36	6,48	NBr 12.179
Vidro		3,9	0,18	0,702	0,06	0,234	0,04	0,156	0,03	0,117	0,02	0,078	0,02	0,078	Carvalho (2006)
Metal		0,66	0,05	0,033	0,1	0,066	0,1	0,066	0,1	0,066	0,07	0,0462	0,02	0,0132	Carvalho (2006)
Cortiça		7,71	0,1	0,771	-0,125	-0,96375	0,15	1,1565	-0,15	-1,1565	0,15	1,1565	-0,15	-1,1565	Carvalho (2006)
<b>VOLUME (m3) =</b>	<b>131,54</b>	S =	140,94	A =	29,87	A =	35,51	A =	41,71	A =	39,94	A =	39,33	A =	41,10
			a <sub>medio</sub> =	0,21	a <sub>medio</sub> =	0,25	a <sub>medio</sub> =	0,30	a <sub>medio</sub> =	0,28	a <sub>medio</sub> =	0,28	a <sub>medio</sub> =	0,29	
<b>TR EXISTENTE COM PESSOAS</b>			<b>Treal=</b>	0,71	<b>Treal=</b>	0,60	<b>Treal=</b>	0,51	<b>Treal=</b>	0,53	<b>Treal=</b>	0,54	<b>Treal=</b>	0,52	
<b>TR Ótimo</b>			<b>Totimo=</b>	0,74	<b>Totimo=</b>	0,57	<b>Totimo=</b>	0,50	<b>Totimo=</b>	0,50	<b>Totimo=</b>	0,50	<b>Totimo=</b>	0,50	

# Salas de Aulas 01 e 02 - Levantamento Vistas

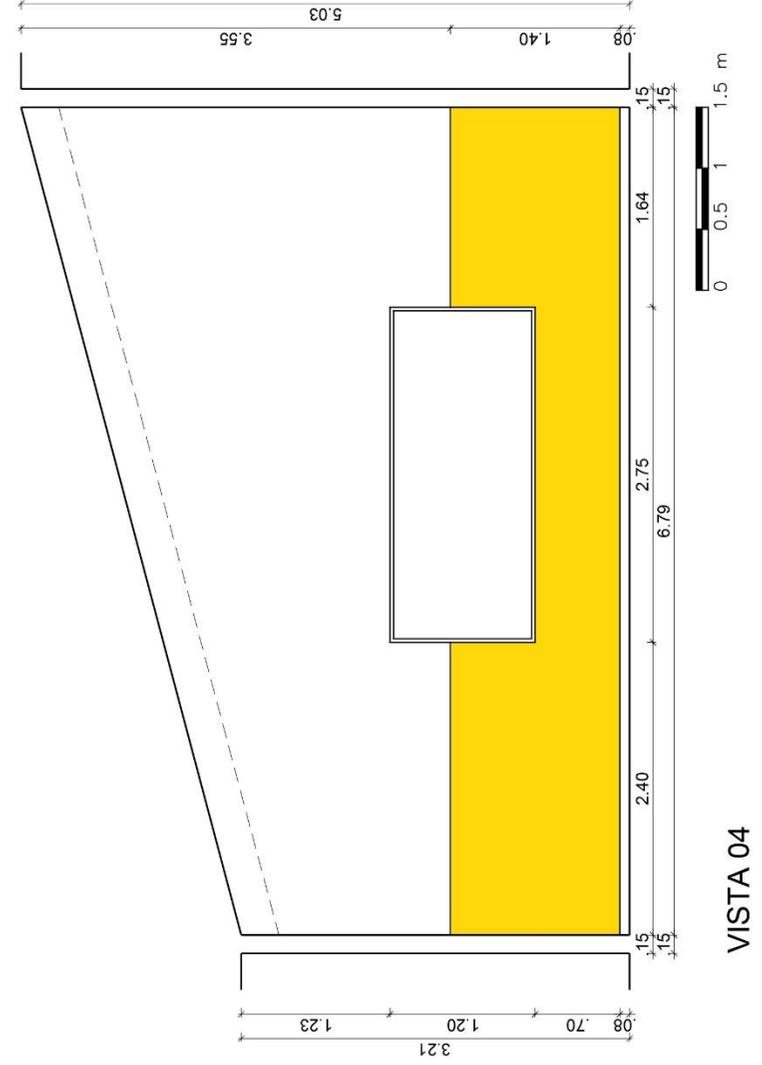
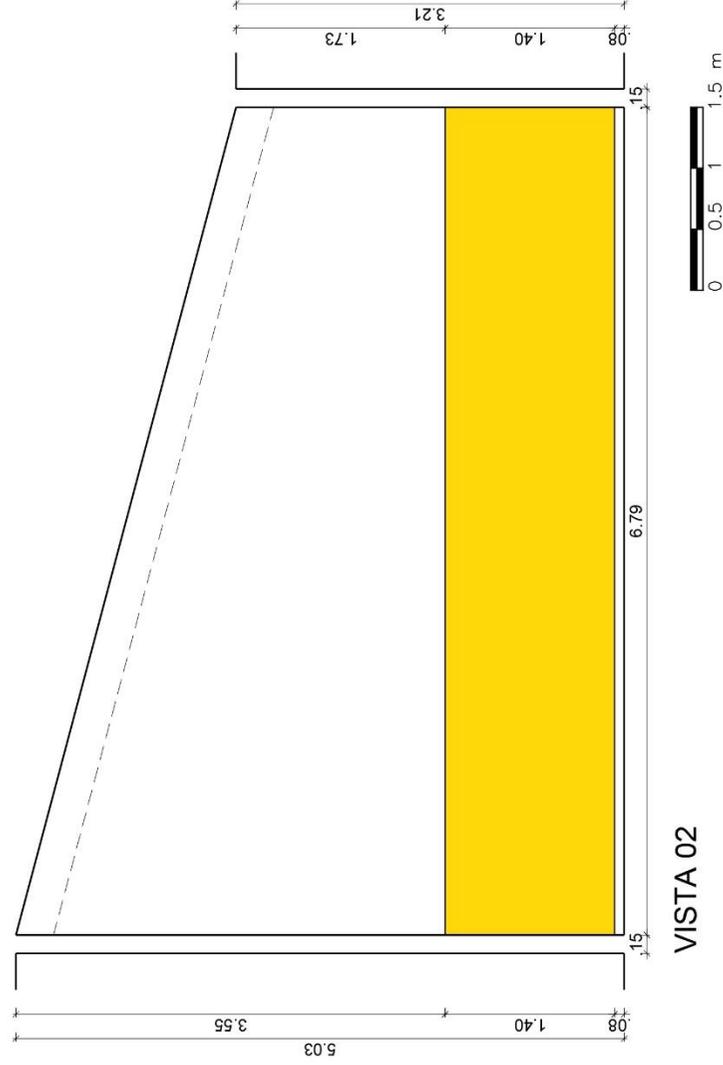
VISTA 01



VISTA 03

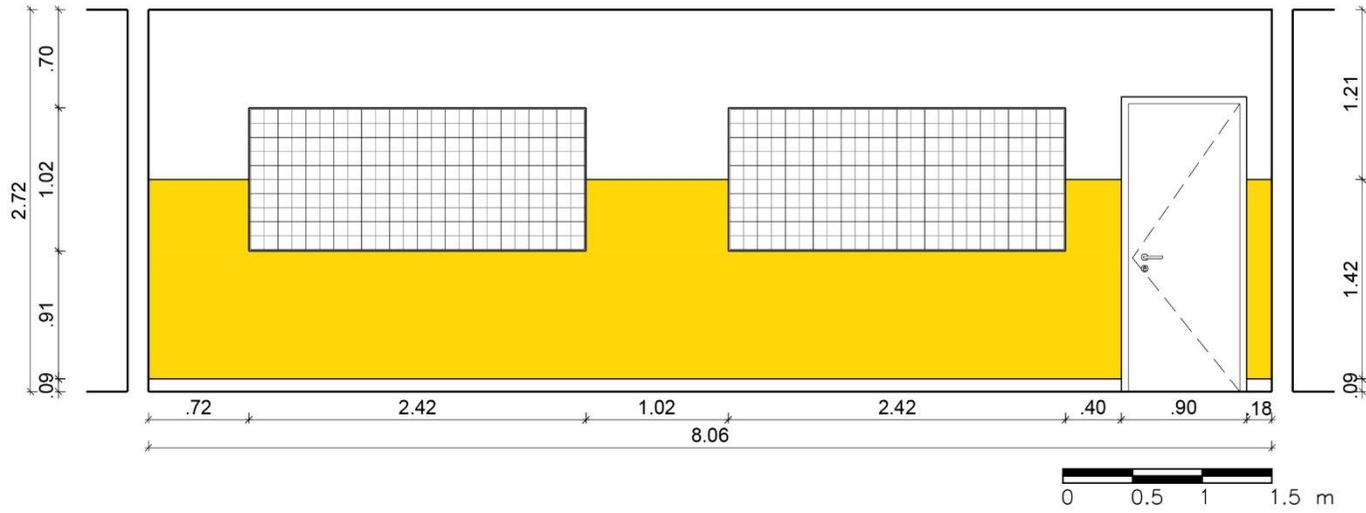


# Salas de Aulas 01 e 02 - Levantamento Vistas

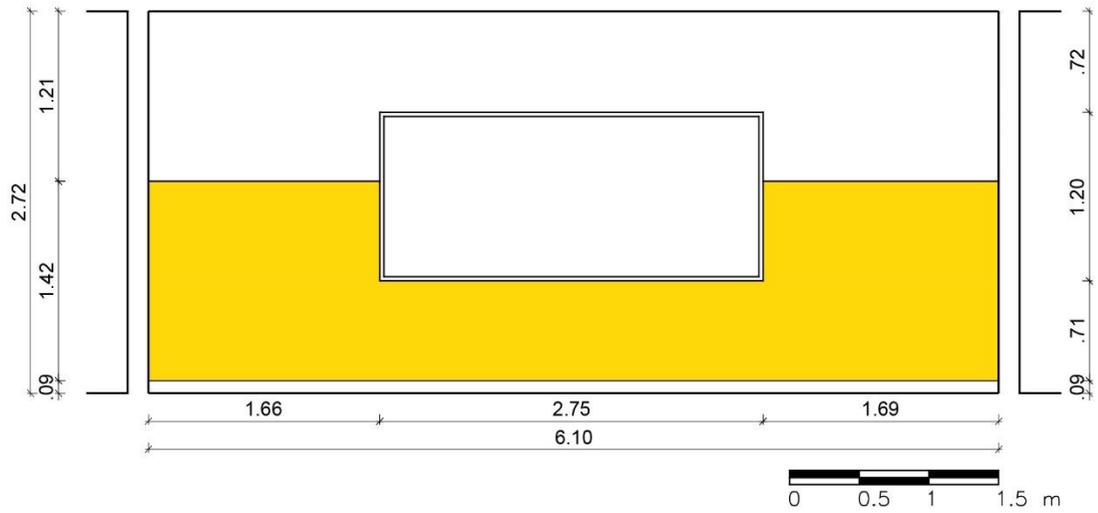


# Salas de Aulas 03 - Levantamento Vistas

## VISTA 01

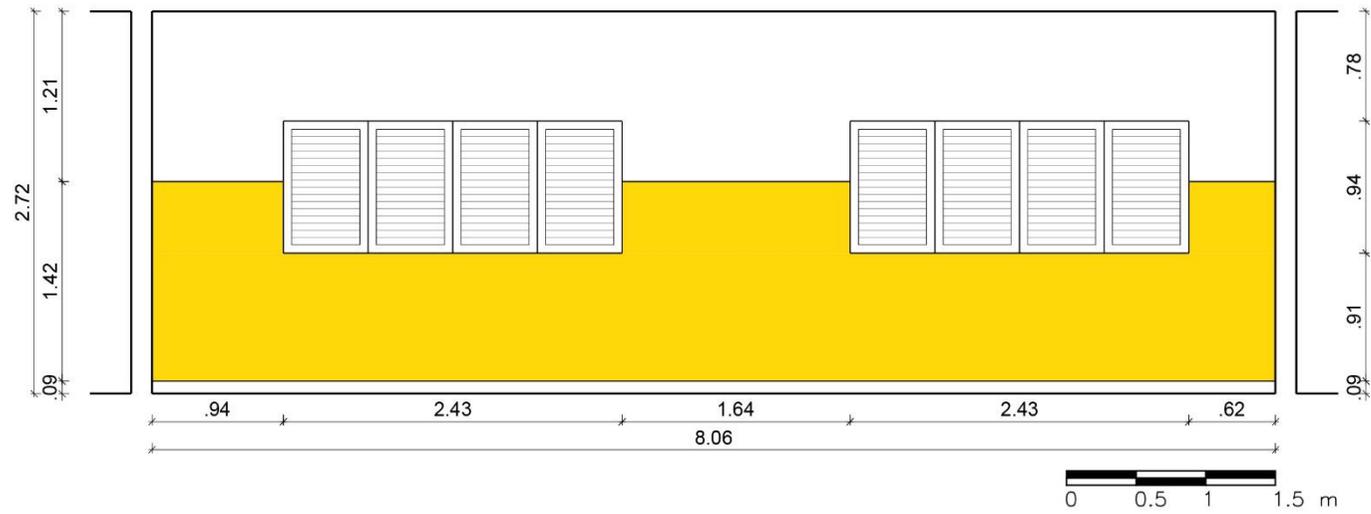


## VISTA 02

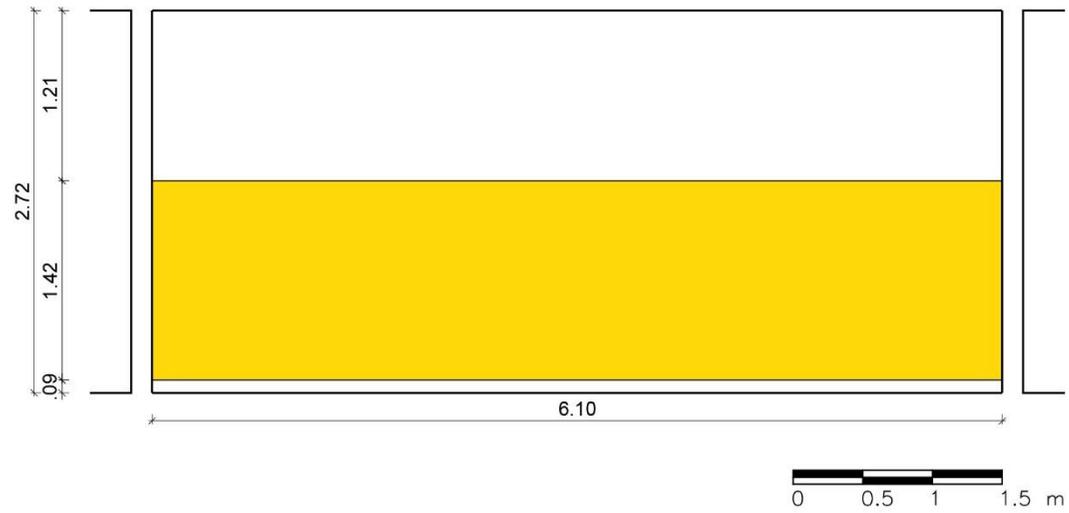


# Salas de Aulas 03 - Levantamento Vistas

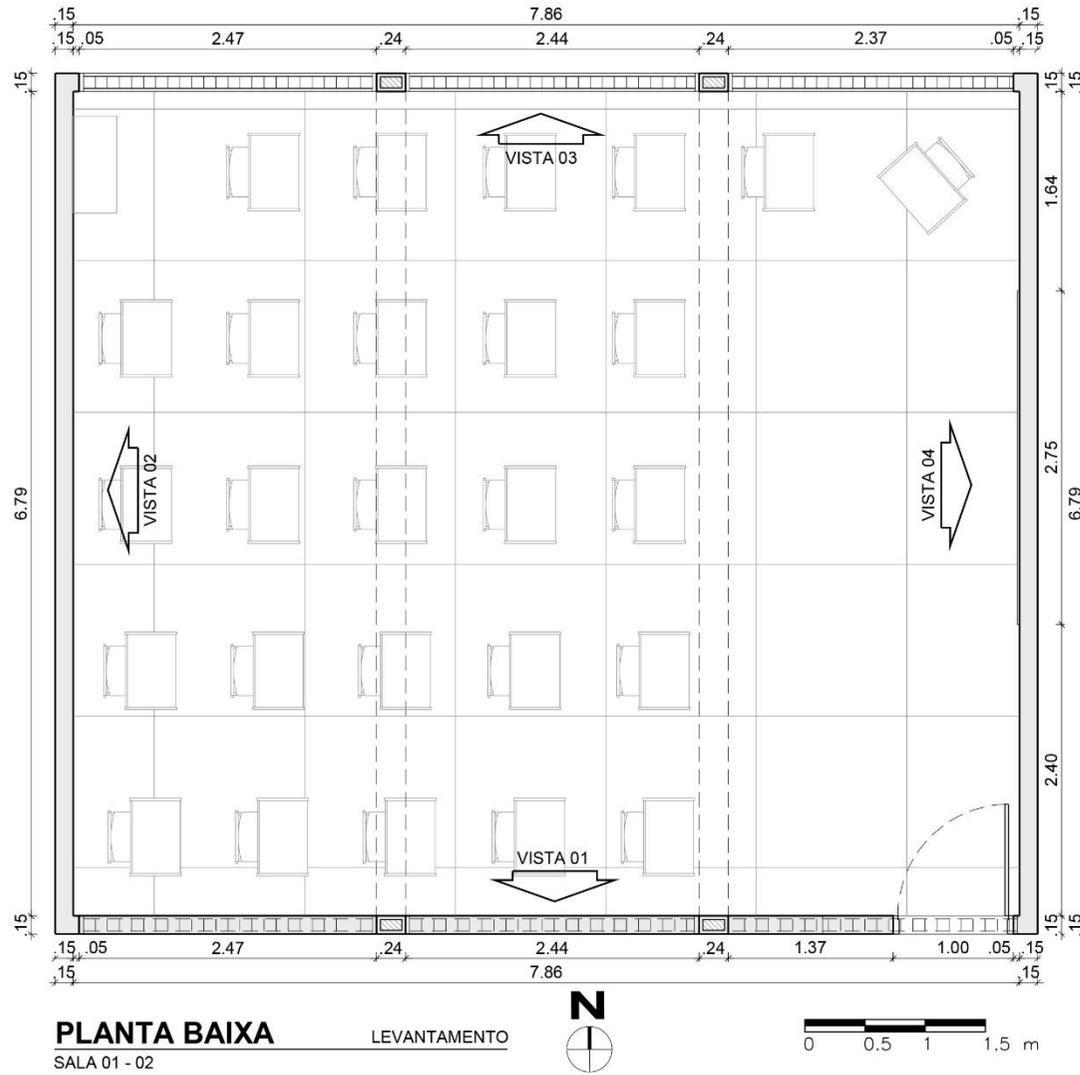
## VISTA 03



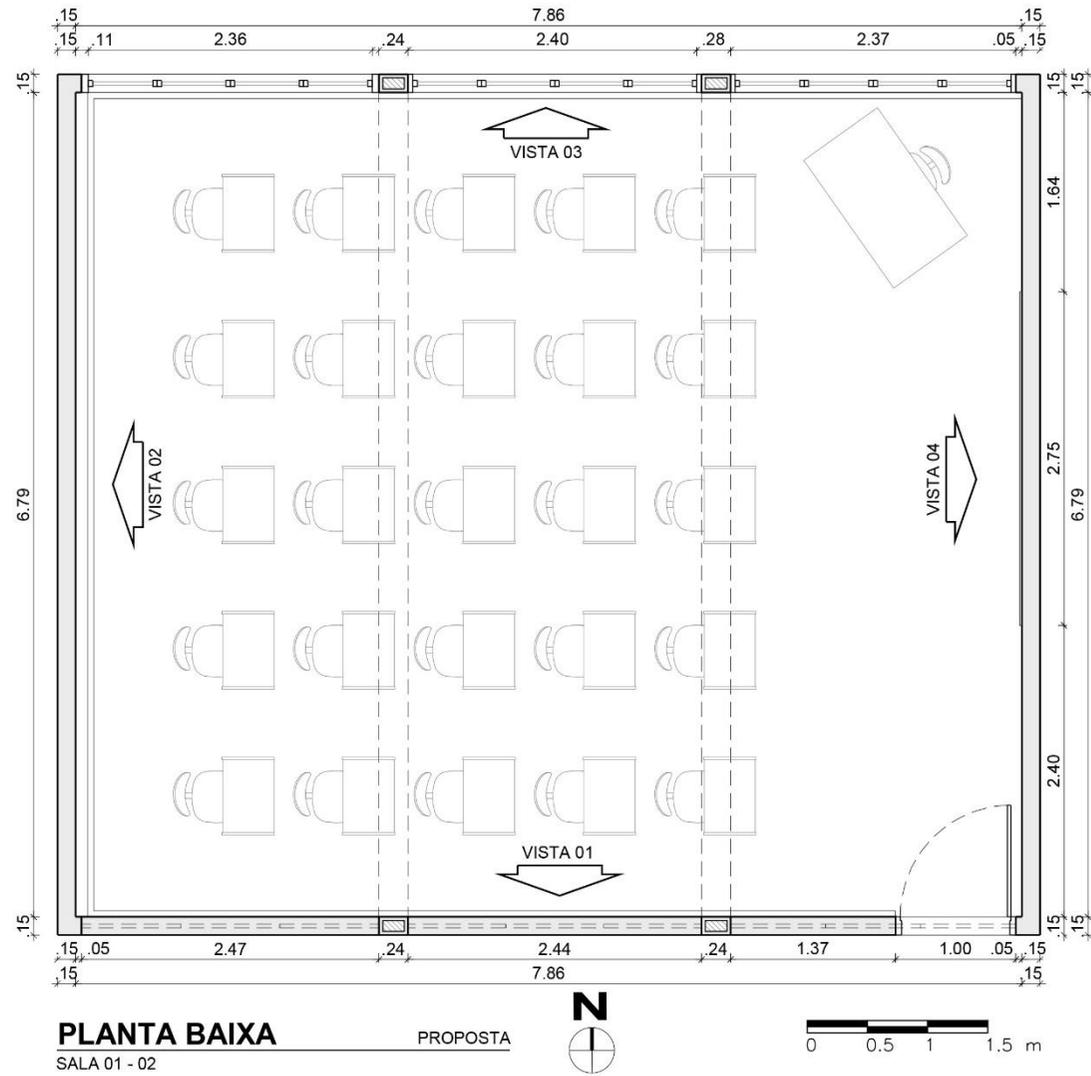
## VISTA 04



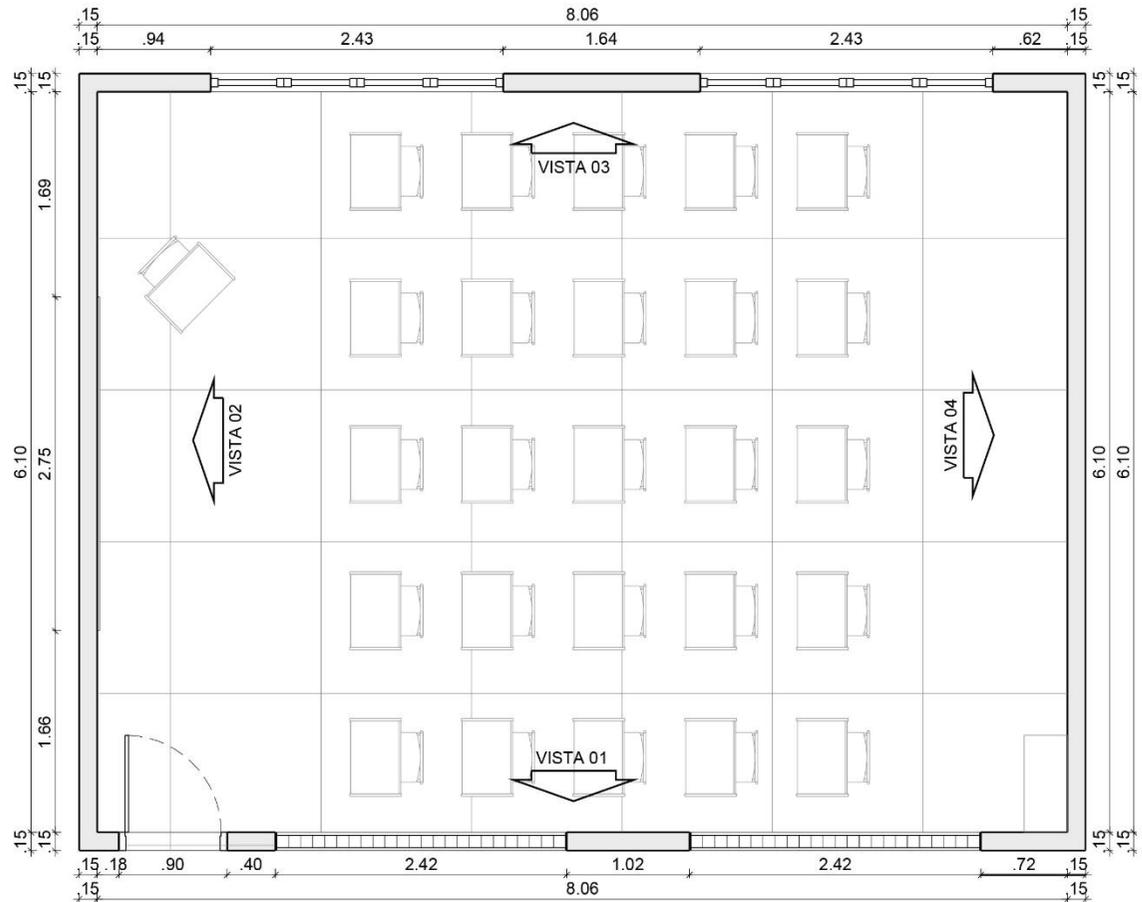
# Salas de Aulas 01 e 02 - Planta Baixa Layout Levantamento



# Salas de Aulas 01 e 02 - Planta Baixa Layout Proposta



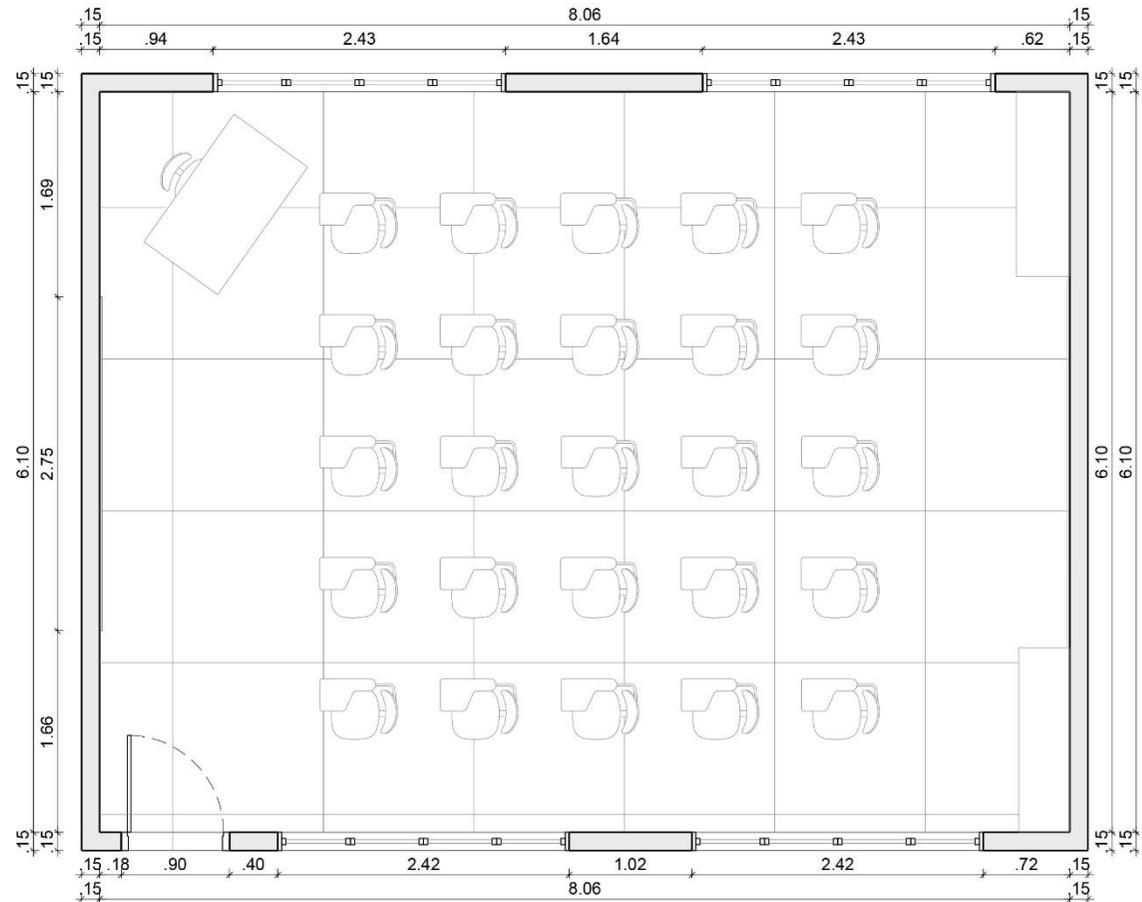
# Salas de Aulas 03 - Planta Baixa Layout Levantamento



**PLANTA BAIXA** LEVANTAMENTO  
SALA 03

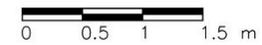


# Salas de Aulas 03 - Planta Baixa Layout Proposta

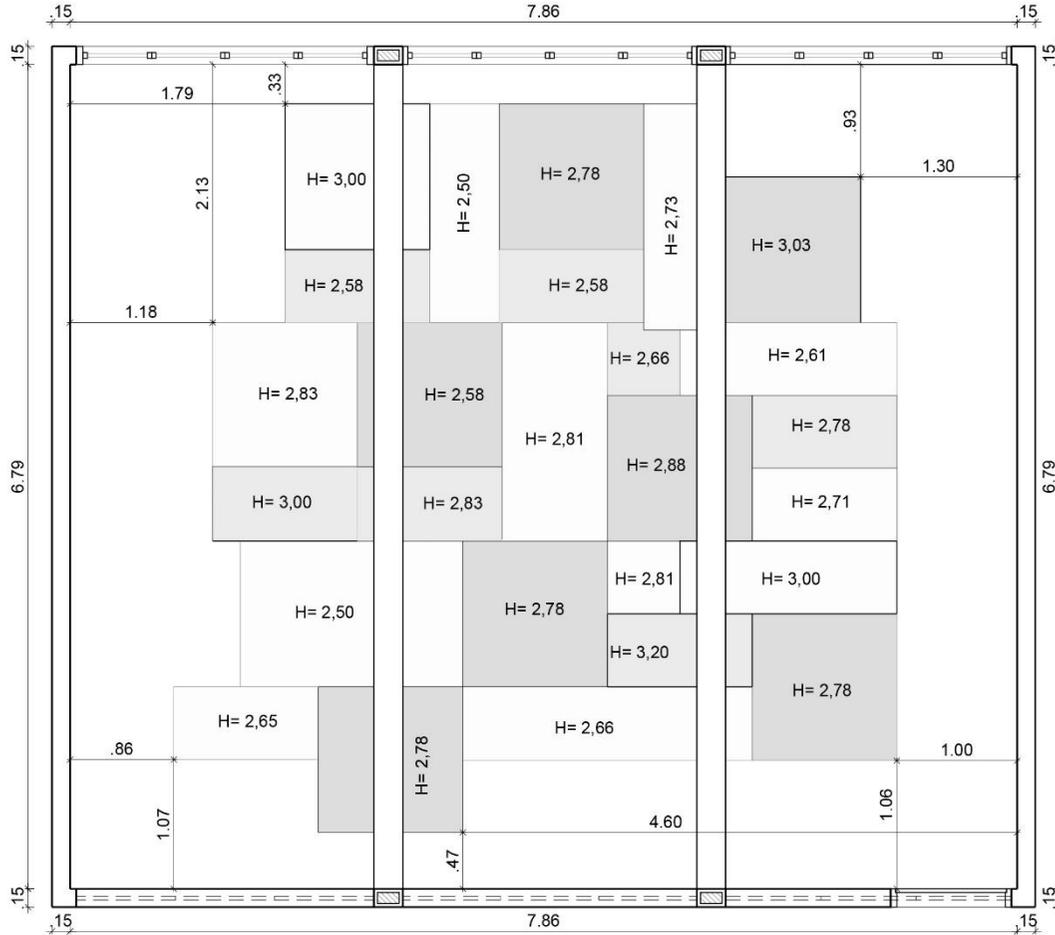


**PLANTA BAIXA**  
SALA 03

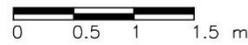
PROPOSTA



# Salas de Aulas 01 e 02 - Planta de Forro Proposta



**PLANTA DE FORRO** PROPOSTA  
SALA 01 - 02

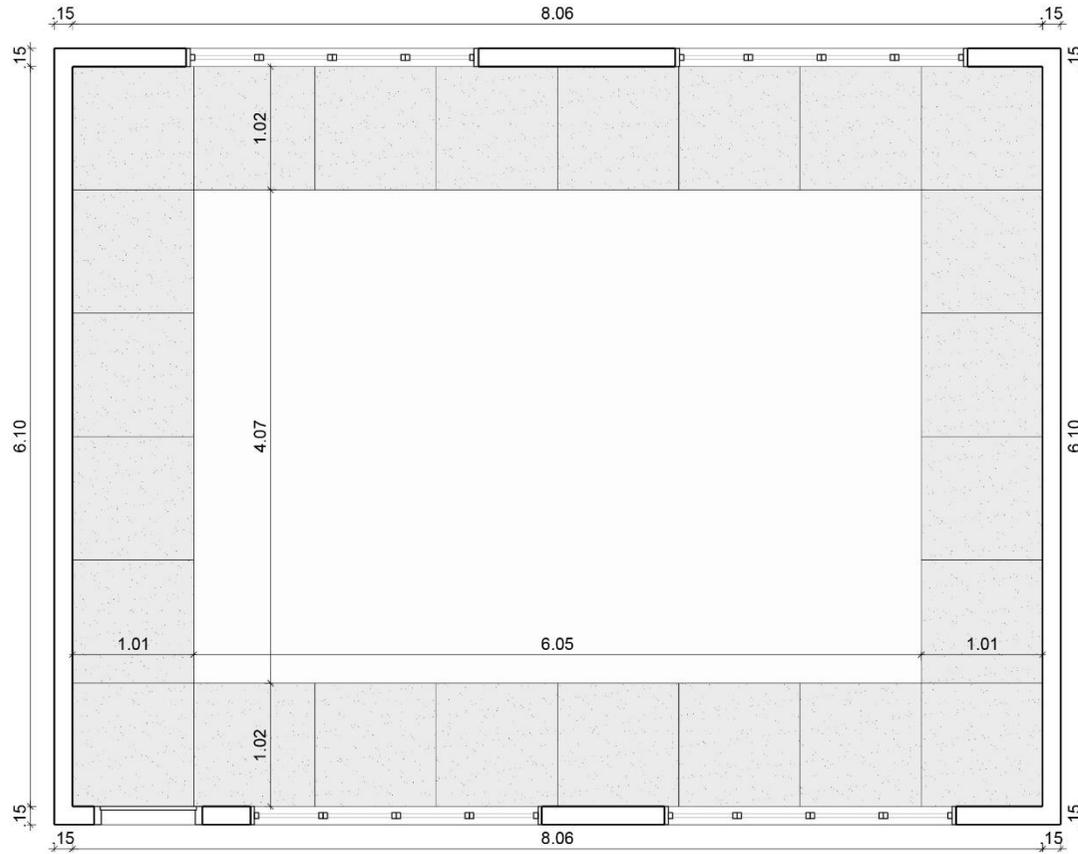


## ESPECIFICAÇÕES

### FORRO

ID	ESPECIFICAÇÃO	QTD.
01	NUVEM ACÚSTICA QUADRADA PENDENTE	25,20 m <sup>2</sup>
02	NUVEM ACÚSTICA RETANGULAR PENDENTE	9,72 m <sup>2</sup>
03	FORRO DE GESSO ACARTONADO PENDENTE	14,62 m <sup>2</sup>

# Salas de Aulas 03 - Planta de Forro Proposta



**PLANTA DE FORRO** PROPOSTA  
SALA 03



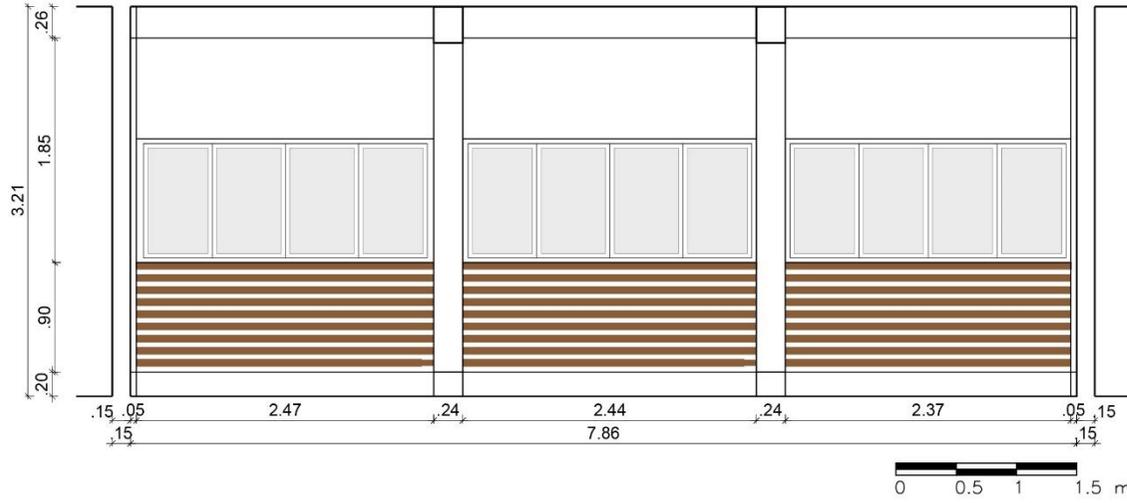
## ESPECIFICAÇÕES

### FORRO

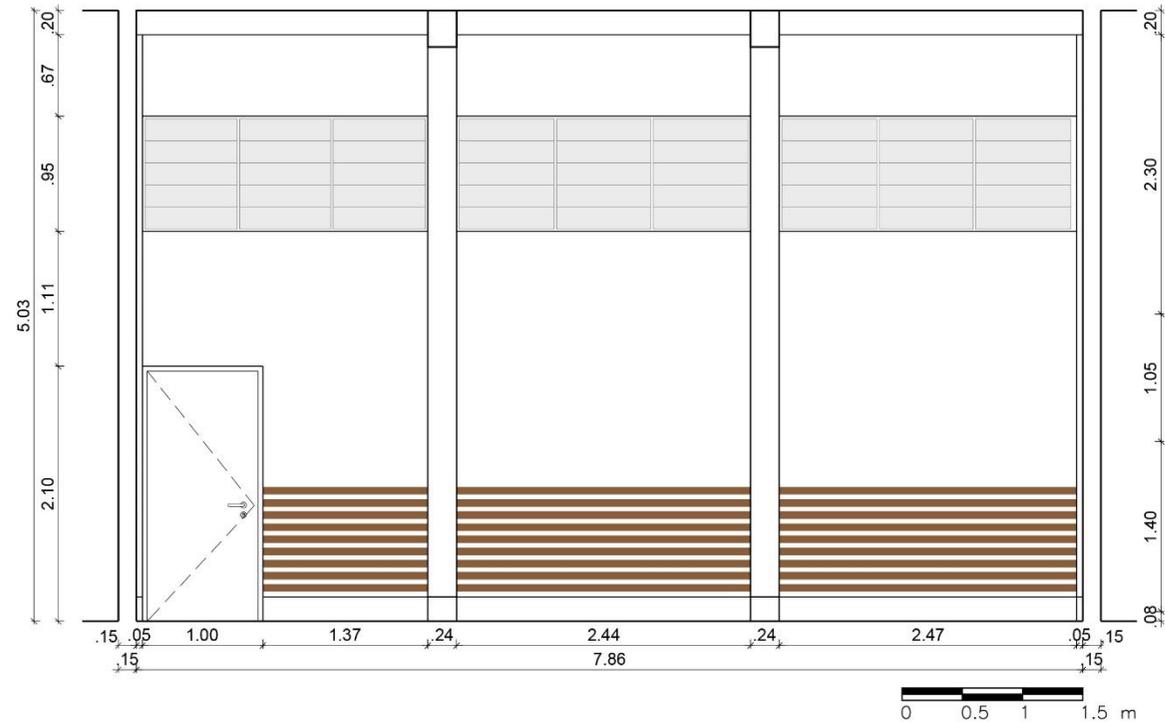
ID	ESPECIFICAÇÃO	QTD.
01	FORRO MINERAL JANUS OWA	22,00 m <sup>2</sup>
02	GESO ACARTONADO LISO	25,00 m <sup>2</sup>

# Salas de Aulas 01 e 02 - Proposta Vistas

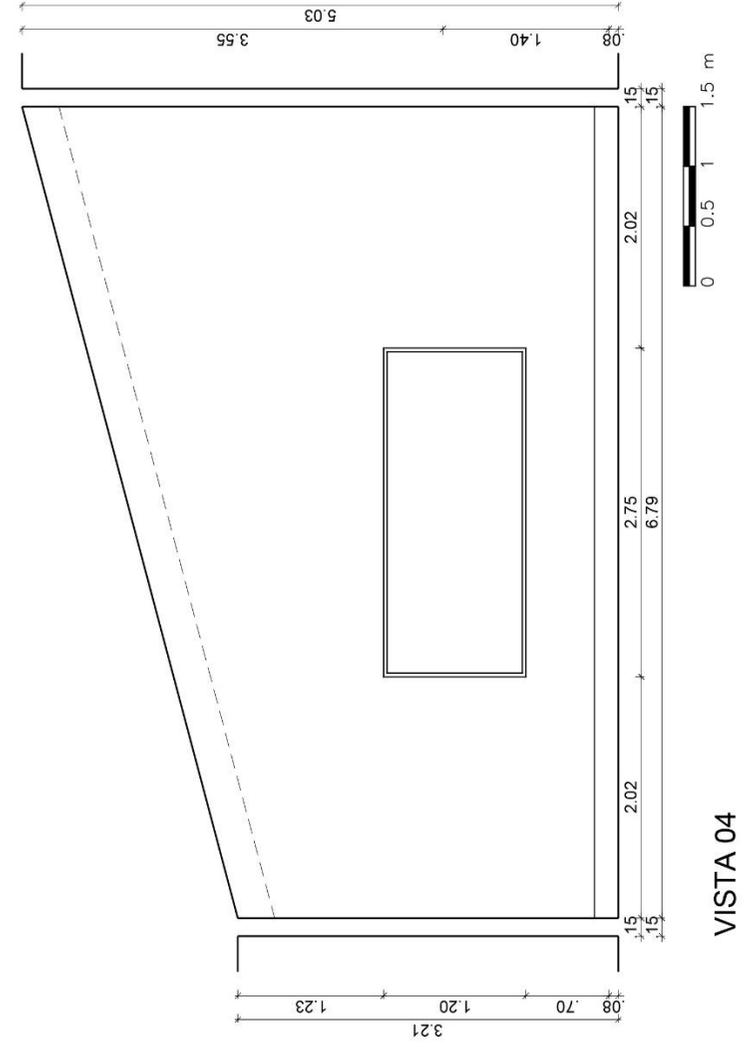
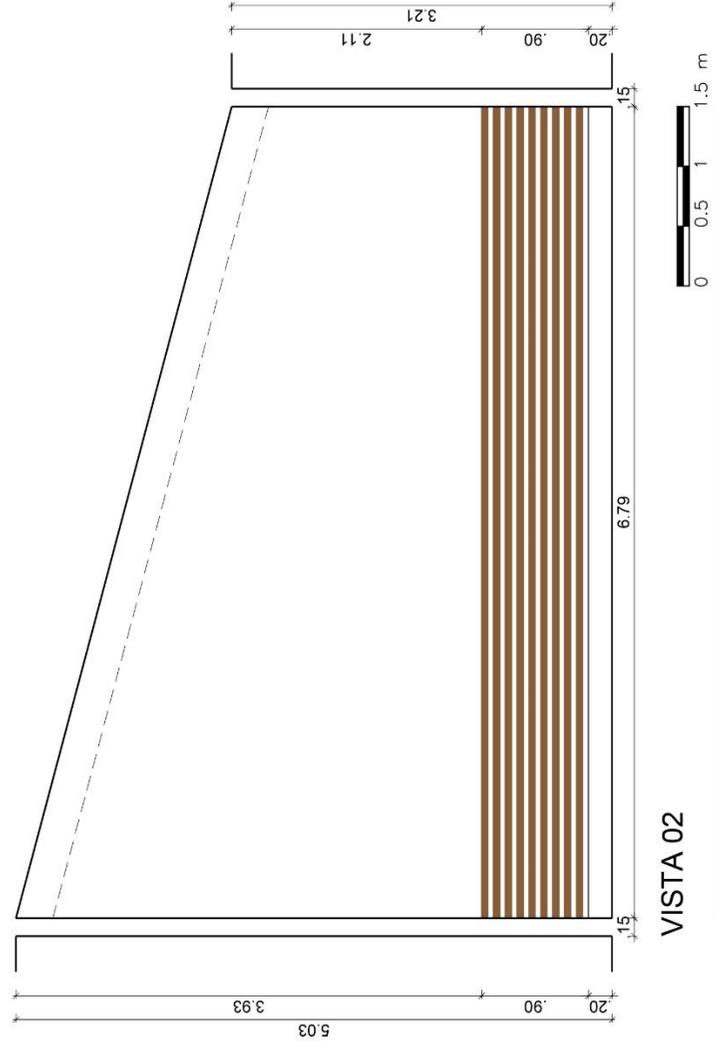
VISTA 01



VISTA 03

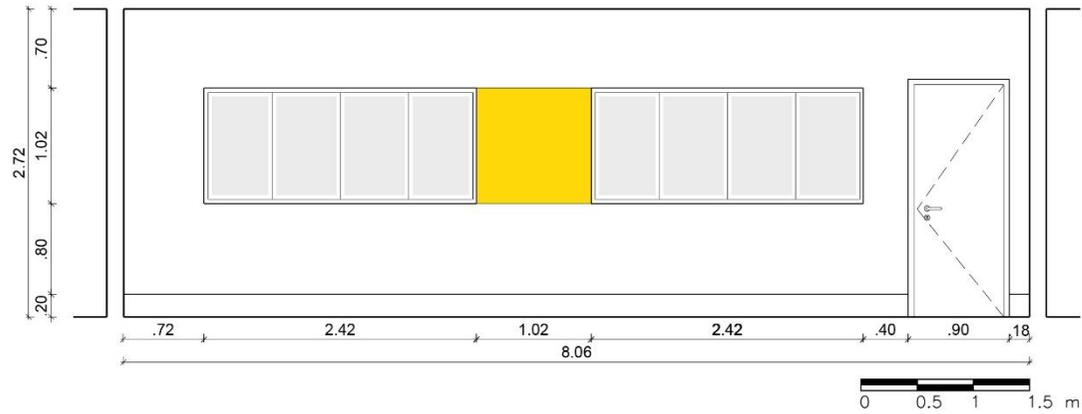


# Salas de Aulas 01 e 02 - Proposta Vistas

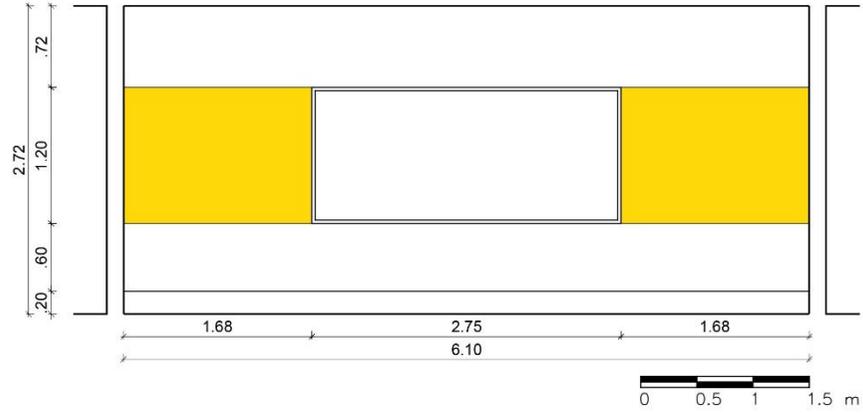


# Salas de Aulas 03 – Proposta Vistas

VISTA 01

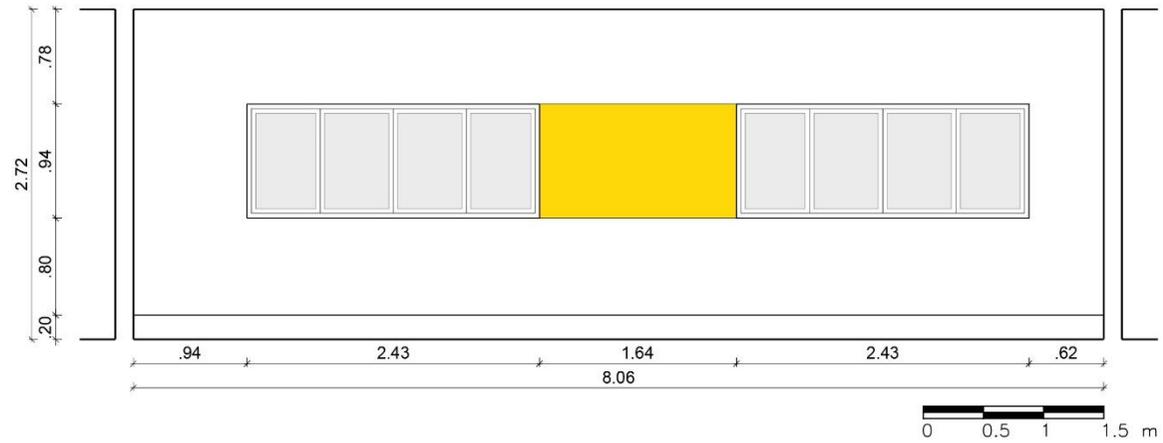


VISTA 02

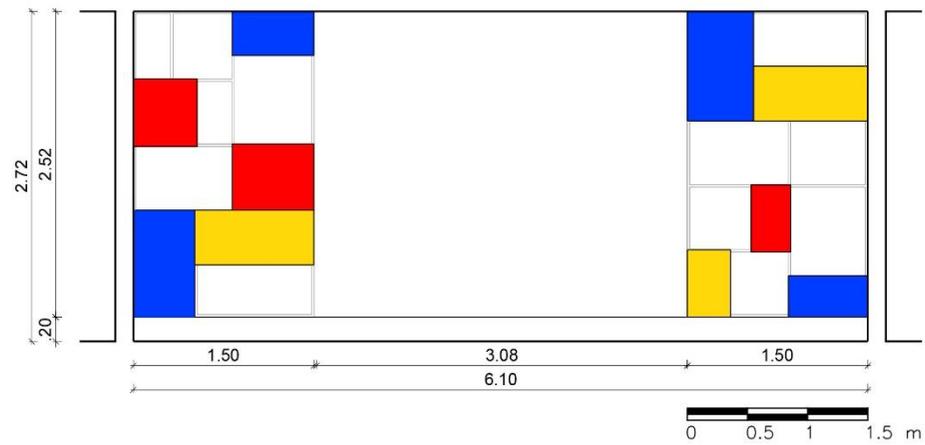


# Salas de Aulas 03 – Proposta Vistas

## VISTA 03



## VISTA 04



## FORMULÁRIO PARA ALUNOS

Caro Aluno (a),

Buscando analisar a qualidade acústica das salas de aula da rede pública de ensino e relatá-la em um Trabalho de Conclusão de Curso, solicito a sua colaboração para preencher o questionário a seguir:

1. Qual local da sala você geralmente senta?

- Frente
- Meio
- Fundo

2. Você consegue escutar bem o que o professor diz durante a aula?

- Sim
- Não
- Mais ou Menos

3. Você acha a sua sala barulhenta ou silenciosa?

- Barulhenta
- Silenciosa

4. Qual barulho você mais ouve durante a aula?

- Voz do professor da sua sala
- Voz do professor de outra aula
- Barulhos do lado de fora
- Conversa dos amigos

5. Quais barulhos externos mais lhe incomoda durante a aula?

- Avião
- Carro
- Ônibus
- Buzinas
- Pessoas
- Animais

## FORMULÁRIO PARA ALUNOS

6. Qual barulho você mais escuta durante sua aula?

- Barulho de fora da escola
- Barulho de dentro da escola

7. Quando o barulho mais te atrapalha?

- Quando o professor fala e não consigo entender
- Quando estou fazendo prova
- Quando estou lendo
- Quando estou fazendo uma atividade
- O barulho não me atrapalha

8. Qual barulho mais lhe incomoda durante a aula?

- Voz dos colegas da minha sala
- Voz dos colegas de outras salas
- Carteiras sendo arrastadas
- Barulho do banheiro
- Barulho da cozinha
- Barulho da quadra de esportes
- Passos na sala de aula
- Materiais caindo no chão
- Barulhos de fora da sala de aula

9. Você se sente irritado com o barulho na sua escola?

- Sim
- Não

10. Quando existe muito barulho durante a aula, como você se sente?

---

---

---

---

---

## FORMULÁRIO PARA PROFESSORES

Caro Professor (a),

Buscando analisar a qualidade acústica das salas de aula da rede pública de ensino e relatá-la em um Trabalho de Conclusão de Curso, solicito a sua colaboração para preencher o questionário a seguir, ressaltando que as informações serão analisadas de forma sigilosa:

Possui algum tipo de problema auditivo? ( ) Sim ( ) Não  
Já precisou se ausentar das atividades escolares por fadiga vocal ou algum outro problema correlacionado com o ruído? ( ) Sim ( ) Não

Qual? \_\_\_\_\_

1. Atribua um valor, de 0 a 4, para ruídos predominantes em sua sala de aula:

- ( ) Barulho dos próprios alunos
- ( ) Barulho de alunos de salas vizinhas
- ( ) Voz do professor da sala vizinha
- ( ) Voz de funcionários da escola
- ( ) Conversas do lado de fora da sala
- ( ) Barulho da Cozinha
- ( ) Barulho dos Banheiros
- ( ) Barulhos externos à escola

2. Atribua um valor, de 0 a 4, para o incômodo causado por barulhos de fora da escola:

- ( ) Automóveis
- ( ) Posto de saúde
- ( ) Buzinas
- ( ) Alarmes
- ( ) Vizinhança
- ( ) Construções

## FORMULÁRIO PARA PROFESSORES

3. Atribua um valor, de 0 a 4, para as atividades em sala de aula que são mais afetadas pelo barulho:

- ( ) Leitura
- ( ) Concentração dos alunos
- ( ) Compreensão dos alunos aos assuntos
- ( ) Atividades em grupo
- ( ) Aula expositiva
- ( ) Atividades dinâmicas

4. Atribua um valor, de 0 a 4, para situações que você acredita gerar maior interferência durante a aula:

- ( ) Barulho dos alunos dentro de sala de aula
- ( ) Barulho de salas vizinhas
- ( ) Barulho das dependências da escola
- ( ) Barulho de fora da Escola

5. Você acredita que o barulho interfere no rendimento escolar dos alunos? Justifique.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

6. Atribua um valor, de 0 a 4, para a influência do barulho para você

- ( ) Irritabilidade
- ( ) Dor de cabeça
- ( ) Desânimo
- ( ) Cansaço
- ( ) Dor de garganta
- ( ) Piora na audição
- ( ) Fadiga vocal

## FORMULÁRIO PARA FUNCIONÁRIOS

Caro Funcionário(a),

Buscando analisar a qualidade acústica das salas de aula da rede pública de ensino e relatá-la em um Trabalho de Conclusão de Curso, solicito a sua colaboração para preencher o questionário a seguir, ressaltando que as informações serão analisadas de forma sigilosa:

1. Atribua um valor, de 0 a 4, para ruídos predominantes na escola

- Barulho dos próprios alunos
- Voz do professor
- Voz de funcionários da escola
- Conversas do lado de fora da sala
- Barulho da Cozinha
- Barulho dos Banheiros
- Barulhos externos à escola

2. Atribua um valor, de 0 a 4, para o incômodo causado por barulhos de fora da escola:

- Automóveis
- Posto de saúde
- Buzinas
- Alarmes
- Vizinhança
- Construções

3. Atribua um valor, de 0 a 4, para a influência do barulho para você

- Irritabilidade
- Dor de cabeça
- Desânimo
- Cansaço
- Piora na audição

