



**GIOVANI SALOMÃO TEIXEIRA**

**AVALIAÇÃO ACÚSTICA PÓS-OCUPAÇÃO EM  
AMBIENTES DE ENSINO**

**LAVRAS-MG**

**2014**

**GIOVANI SALOMÃO TEIXEIRA**

**AVALIAÇÃO ACÚSTICA PÓS-OCUPAÇÃO EM AMBIENTES DE  
ENSINO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções e Ambiente, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Francisco Carlos Gomes

Coorientador

Dr. Ernani Simplicio Machado

**LAVRAS-MG**

**2014**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Teixeira, Giovani Salomão.

Avaliação acústica pós-ocupação em ambientes de ensino /  
Giovani Salomão Teixeira. – Lavras : UFLA, 2015.  
168 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de  
Lavras, 2014.

Orientador(a): Francisco Carlos Gomes.

Bibliografia.

1. Acústica de salas de aula. 2. Ruído de fundo. 3.  
Reverberação. 4. Relação sinal/ruído. 5. Avaliação pós-ocupação. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**GIOVANI SALOMÃO TEIXEIRA**

**AVALIAÇÃO ACÚSTICA PÓS-OCUPAÇÃO EM AMBIENTES DE  
ENSINO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções e Ambiente, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 19 de Dezembro de 2014.

Dr. Tadayuki Yanagi Junior                      UFLA

Dr. Luciana Barbosa de Abreu                      UFLA

Dr. Ernani Simplicio Machado                      UFJF

Dr. Francisco Carlos Gomes  
Orientador

**LAVRAS-MG**

**2014**

*A Deus.*

*A Lucia, minha mãe, pelo amor incondicional.*

*Ao Antonio, meu pai, por ser minha referência de trabalho e dedicação.*

*A Tatiana, minha esposa, pela presença fiel em minha vida.*

*A minha filha Olívia, pelo amor em seu pleno significado.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar os meus caminhos e me abençoar muito mais do que mereço.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade concedida para a realização do mestrado.

Ao professor e orientador Francisco Carlos Gomes, pela confiança, paciência e todo conhecimento transmitido.

Ao professor e coorientador Ernani Simplício Machado, pela amizade, atenção e sábias orientações.

À professora Luciana Abreu, pelas leituras criteriosas e contribuições ao trabalho.

Ao professor e chefe Jackson Antônio Barbosa, pela amizade, conselhos e apoio incondicional.

Aos colegas da pós-graduação Lucas Abreu, Rodrigo Allan, Mariana Silva, Rosicler Tavares e Pedro Sodré, pelas trocas de experiências.

Ao amigo Glauco Perobelli, pelo apoio e demonstração de amizade e companheirismo nos momentos difíceis.

Aos meus queridos pais, Lucia e Antonio, por todo carinho e dedicação à Olivia e à Tatiana na minha ausência.

Ao meu afilhado Gabriel, minha irmã Viviani e meu cunhado Alexssander, pelo companheirismo e conselhos.

À minha querida e fiel esposa Tatiana, pelo amor, dedicação, confiança, amizade e paciência.

Às minhas filhas Olivia e Letícia, por darem um sentido muito especial às nossas vidas.

## RESUMO

Diante das complexidades que envolvem o ambiente construído, o processo cognitivo e suas relações com os métodos expositivos como prática de ensino-aprendizagem, no presente trabalho, objetivou-se avaliar a qualidade acústica dos ambientes de ensino da Universidade Federal de Lavras, utilizando metodologias de Avaliação Pós-Ocupação. Com uma abordagem experiencial, investigaram-se as principais patologias acústicas do ponto de vista de seus usuários, submetendo todos os aspectos críticos a uma análise técnica, por meio de métodos multicritérios. Dessa forma, foram aferidos os níveis de Ruído de Fundo, relação Sinal/Ruído, Tempo de Reverberação e proporções geométricas. Os resultados foram comparados às normas específicas, concluindo que os espaços avaliados não estão em conformidade com o que preconizam as recomendações, e estão sujeitos a comprometimentos no processo de ensino-aprendizagem, mediante aos altos níveis de ruídos, associados à baixa inteligibilidade.

Palavras-chave: Acústica de salas de aula, Ruído de fundo, Reverberação, Relação Sinal/Ruído, Avaliação Pós-Ocupação.

## **ABSTRACT**

Facing the complexities that involve the constructed environment, the cognitive process and its relations with the expositive methods as practice of teaching-apprenticeship, the present work presents as objective evaluating the acoustic quality of the teaching environments in the Universidade Federal de Lavras using Post-Occupation Evaluation methodologies. With an experiential approach, we investigated the main acoustic pathologies from the user point of view, submitting all critical aspects to a technical analysis, by means of multicriteria methods. Therefore, we verified the levels of background noise, Signal-to-Noise ratio, Reverberation Time and geometric proportions. The results were compared to the specific norms concluding that the evaluated spaces are not in conformity with what the recommendations preconize, and are subject to compromises in the teaching-apprenticeship process under high noise levels, associated to low intelligibility.

**Keywords:** Class-room acoustics, background noise, reverberation, Signal-to-Noise ratio, Post-Occupation Evaluation.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Curvas de avaliação de ruído (NC) .....	29
Figura 2	Demonstração da relação S/R em sala de aula .....	32
Figura 3	Nível de S/R em diferentes níveis de escolaridade.....	32
Figura 4	Reflexão, absorção e transmissão.....	37
Figura 5	Distância mínima para formação de eco.....	39
Figura 6	Formação de Reverberação (som refletido e som direto).....	40
Figura 7	Tempo de Reverberação ( $TR_{60}$ ): amplitude x tempo.....	41
Figura 8	Tempo Ótimo de Reverberação ( $T_{or}$ ) em 500Hz – Diagrama de Beranek (1962) .....	44
Figura 9	Fator de correção para obtenção dos tempos de reverberação recomendado para outras frequências.....	45
Figura 10	Corte esquemático: Utilização de refletores para maximizar distribuição sonora.....	49
Figura 11	Corte esquemático: Interferências de vigas nas reflexões sonoras .....	50
Figura 12	Diagrama de Bolt.....	51
Figura 13	Ideia ilustrativa do método de traçado de raios. Os índices 1 e 2 referem-se ao primeiro e segundo encontro da partícula com o receptor ..	53
Figura 14	Análise do TR da igreja por bandas de oitava: (A) condição existente (B) Após a proposta de alteração.....	54
Figura 15	Reflexões sobre a superfícies curva atrás do altar e superfícies frontais ao altar .....	55
Figura 16	Análise de Tempo de Reverberação - Santuário Dom Bosco, Brasília-DF .....	56
Figura 17	Análise das reflexões acústicas no Ecotect do <i>Yost Ice Arena</i> ...	57
Figura 18	Propostas de alteração para diminuição do TR .....	57

Figura 19	TR existente e TR obtido em simulação.....	58
Figura 20	Processo evolutivo da APO.....	62
Figura 21	Mapa geral UFLA .....	68
Figura 22	Mapeamento Fotográfico e Análise <i>Walkthrough</i> – Pavilhão 2 ..	73
Figura 23	Mapeamento Fotográfico e Análise <i>Walkthrough</i> – Pavilhão 3...	74
Figura 24	Mapeamento Fotográfico e Análise <i>Walkthrough</i> – Pavilhão 4...	75
Figura 25	Fotos da Sala PV2-04.....	79
Figura 26	Planta e quadro de acabamentos da Sala PV2-04.....	80
Figura 27	Fotos da sala PV3-02.....	81
Figura 28	Planta e quadro de acabamentos da Sala PV3-02.....	81
Figura 29	Planta e quadro de acabamentos da Sala PV4-03.....	83
Figura 30	Medidor de Nível de Pressão Sonora Instrutherm, DEC-490 .....	84
Figura 31	Planta baixa ilustrativa do ponto de medição da Relação S/R....	86
Figura 32	Diagrama de reflexões simulado no software Autodesk Ecotect ..	90
Figura 33	Análise da proporção da sala pelo gráfico de Bolt, Beranek e Newman (1946 apud AMORIM, 2007) para a sala PV2-04.....	100
Figura 34	Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano horizontal da sala PV2-04.....	103
Figura 35	Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano vertical da sala PV2-04 .....	104
Figura 36	Sequência de imagens do comportamento sonoro, em perspectiva, na sala PV2-04.....	105
Figura 37	Análise da proporção da sala pelo gráfico de Bolt, Beranek e Newman para a sala PV3-02.....	114
Figura 38	Efeito refletor da janela basculante da sala PV3-02 .....	116
Figura 39	Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano horizontal da sala PV3-02.....	117

Figura 40 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano vertical da sala PV3-02 .....	118
Figura 41 Sequência de imagens do comportamento sonoro, em perspectiva, na sala PV3-02.....	119
Figura 42 Ilustração do centro e foco das reflexões.....	130
Figura 43 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano horizontal da sala PV4-03.....	131
Figura 44 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano horizontal da sala PV4-03.....	132
Figura 45 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano vertical da sala PV4-03 .....	133
Figura 46 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano vertical da sala PV4-03 .....	134
Figura 47 Sequência de imagens do comportamento sonoro em perspectiva da sala PV4-03.....	135
Figura 48 Sequência de imagens do comportamento sonoro em perspectiva da sala PV4-03.....	136
Figura 49 A: Pontos “surdos” B: sombras acústicas.....	137
Figura 50 Diretividade da voz na sala PV4-3 .....	138
Figura 51 Efeito refletor da janela basculante da sala PV3-02 .....	139

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Problemas vocais identificados em função do uso da voz para lecionar .....	93
Gráfico 2 Resultado do questionário: Com o ventilador ligado, qual é o nível de dificuldade para entender o professor (ou lecionar) ? .....	93
Gráfico 3 Resultado do questionário: O “barulho” que você ouve vem de onde? .....	94
Gráfico 4 Resultado do questionário: Você ouve com clareza tudo que é dito pelo professor (ou aluno) ou o som parece “embaralhado”? .....	95
Gráfico 5 Condição 1: Nível de Pressão equivalente na faixa de ponderação A aferido por 10 minutos na sala PV2-04 .....	96
Gráfico 6 Condição 2: Nível de Pressão equivalente na faixa de ponderação A aferido por 10 minutos na sala PV2-04 .....	97
Gráfico 7 Relação S/R: NPS da voz do professor e NRF da sala PV2-04 sem a voz do professor.....	97
Gráfico 8 Valor do $NPS_{prof}$ comparado aos níveis propostos por Pearsons et al. (1977 apud OLSEN, 1998). .....	98
Gráfico 9 Tempo de Reverberação pelo método de Sabine (modificado) e Tempo ótimo de Reverberação (Tor) para a sala PV2-04.....	99
Gráfico 10 Resultado do questionário: Em relação à quantidade e intensidade dos ruídos de origem externa, como você classifica?.....	107
Gráfico 11 Resultado do questionário: O “barulho” que você ouve vem de onde?.....	108
Gráfico 12 Resultado do questionário: Com o ventilador (ou climatizador) ligado, qual é o nível de dificuldade para entender o professor (ou lecionar)? .....	109

Gráfico 13	Você ouve com clareza tudo que é dito pelos alunos ou o som parece “embaralhado”?	109
Gráfico 14	Condição 1: Nível de Pressão equivalente na faixa de ponderação A aferido por 10 minutos na sala PV3-02	110
Gráfico 15	Condição 2: Nível de Pressão equivalente na faixa de ponderação A aferido por 10 minutos na sala PV3-02	111
Gráfico 16	Relação S/R: NPS da voz do professor e NRF da sala PV2-04 sem a voz do professor	112
Gráfico 17	Valor do $NPS_{prof}$ comparado aos níveis propostos por Pearsons et al. (1977 apud OLSEN, 1998)	112
Gráfico 18	Tempo de Reverberação pelo método de Sabine (modificado) e Tempo ótimo de Reverberação (Tor) para a sala PV2-04	113
Gráfico 19	Resultado do questionário: Você considera que esta é uma sala silenciosa ou “barulhenta”?	120
Gráfico 20	Resultado do questionário: Com o climatizador ligado, qual é o nível de dificuldade para entender o que é falado pelo professor (ou lecionar)?	121
Gráfico 21	Resultado do questionário: Você acha que tem algum lugar na sala que seja muito ou mais “barulhento”? Onde?	121
Gráfico 22	Resultado do questionário: O “barulho” que você ouve vem de onde?	122
Gráfico 23	Resultado do questionário: Você ouve com clareza tudo que é dito pelo professor ou o som parece “embaralhado”?	123
Gráfico 24	Condição 1: Nível de Pressão equivalente na faixa de ponderação A aferido por 10 minutos na sala PV4-03	124
Gráfico 25	Condição 2: Nível de Pressão equivalente na faixa de ponderação A aferido por 10 minutos na sala PV4-03	125

Gráfico 26	Relação S/R: NPS da voz do professor e NRF da sala PV4-03 sem a voz do professor.....	127
Gráfico 27	Valor do $NPS_{prof}$ comparado aos níveis propostos por Pearsons et al. (1977 apud OLSEN, 1998). .....	127
Gráfico 28	Tempo de Reverberação pelo método de Sabine (modificado) e Tempo ótimo de Reverberação (Tor) para a sala PV2-04..	128

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Máximo de ruído de fundo para salas de aula.....	30
Tabela 2	Valores de Ruído de Fundo recomendados para salas de aula em diversos países .....	31
Tabela 3	Valores de $TR_{60}$ máximo para ambientes de ensino segundo a Organização Mundial de Saúde .....	42
Tabela 4	Valores de $T_{OR}$ recomendados para salas de aulas em diferentes países.....	42
Tabela 5	Valores de $TR_{60}$ máximo para ambientes de ensino segundo norma ANSI S 12.60.....	43
Tabela 6	Quadro de diagnóstico .....	72
Tabela 7	Número de questionários aplicados .....	77
Tabela 8	Resumo dos resultados dos diferentes parâmetros avaliados.....	140

## LISTA DE AREVIATURAS

RF	Ruído de Fundo
NPS	Nível de Pressão Sonora
LeqA	Nível sonoro equivalente com filtro de ponderação de frequência em A
S/R	Sinal/Ruído
RSR	Relação Sinal/Ruído
TR	Tempo de reverberação
PV2-01	Pavilhão 2 – Sala 01
PV2-02	Pavilhão 2 – Sala 02
PV2-03	Pavilhão 2 – Sala 03
PV2-04	Pavilhão 2 – Sala 04
PV3-02	Pavilhão 3 – Sala 02
PV4-01	Pavilhão 4 – Sala 01
PV4-02	Pavilhão 4 – Sala 02
PV4-03	Pavilhão 4 – Sala 03
PV5-01	Pavilhão 5 – Sala 01
PV5-02	Pavilhão 5 – Sala 02
PV5-03	Pavilhão 5 – Sala 03
$NPS_{prof}$	Nível de Pressão Sonora da voz do professor
$NPS_{máximo}$	Nível de Pressão Sonora Máximo
$NPS_{min}$	Nível de Pressão Sonora mínimo
$NPS_{total}$	Nível de Pressão Sonora total
Log	Logaritmo



## LISTA DE SIGLAS

INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
APO	Avaliação Pós-Ocupação
UFLA	Universidade Federal de Lavras
TDIC	Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação
VAC	Visual, Auditivo e Cinestésico (canais sensoriais).
NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
ANSI	<i>American National Standard Institute</i>
ASHA	<i>American Speech-Language-Hearing Association</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
WHO	World Health Organization
DIN	Instituto Alemão de Normatização (Controle de Ruído em Escolas)
EUA	Estados Unidos da América
ProLUGAR	Grupo Qualidade do Lugar e Paisagem
FAU	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
DADP	Diretoria de Apoio e Desenvolvimento Pedagógico
DRCA	Diretoria de Registro e Controle Acadêmico
NRF	Nível de Ruído de Fundo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

## LISTA DE SIMBOLOS

dB	Decibel
dB(A)	Decibel com filtro de ponderação de frequência em A
NC	<i>Noise Criteria</i>
Hz	Hertz
Khz	Quilohertz
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
E <sub>i</sub>	Energia Incidente
E <sub>r</sub>	Energia Refletida
E <sub>t</sub>	Energia Transmitida
$\alpha$	Coefficiente de absorção
$r$	Coefficiente de reflexão
$\tau$	Coefficiente de transmissão
$\lambda$	Comprimento de onda
E <sub>a</sub>	Energia absorvida
m/s	Metros por segundo
t	Tempo
Dr	Som refletido
Dd	Som direto
TR <sub>60</sub>	Tempo de Reverberação com decaimento de 60 decibels
V	Volume
S <sub>n</sub>	Área de superfície dos diversos materiais usados no interior do local
$\alpha_n$	coeficiente de absorção de cada material
In	Logaritmo neperiano
S	Área total das superfícies
$\alpha_m$	Coefficiente médio e absorção

A	Área de absorção
$\Sigma$	Somatório
$A = A(f)$	Absorção equivalente
$A_{PR} = A_{PR}(f)$	Absorção equivalente das paredes
$A_O = A_O(f)$	Absorção equivalente dos objetos
$A_{PES} = A_{PES}(f)$	Absorção equivalente referente às pessoas na sala
$A_L = A_L(f)$	Absorção equivalente do ar no ambiente
f	Frequência
$T_{OR}$	Tempo Ótimo de Reverberação
Z	Menor dimensão
Y	Maior dimensão
X	Dimensão média
C	Comprimento
H	Altura
L	Largura
$L_{eq A (10min)}$	Nível sonoro equivalente com filtro de ponderação de frequência em A, medido por dez minutos
m	Metros

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>21</b>
1.1	Relevâncias do tema .....	23
1.2	Objetivos e metas .....	24
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>25</b>
2.1	Ruído de fundo.....	26
2.1.1	Normas Técnicas.....	28
2.2	Relação sinal / ruído .....	31
2.2.1	Valores recomendados de relação sinal e ruído (S/R) .....	34
2.2.2	Cálculo da Relação Sinal e Ruído (S/R).....	34
2.3	Inteligibilidade da fala.....	35
2.4	Absorção, reflexão e transmissão sonora.....	36
2.5	Reverberação .....	39
2.5.1	Definição.....	40
2.5.2	Valores recomendados para o tempo de reverberação .....	41
2.5.3	Tempo ótimo de reverberação (Tor).....	43
2.5.4	Cálculo do tempo de reverberação (TR) .....	45
2.6	Acústica geométrica.....	48
2.6.1	Diagrama de Bolt, Beranek e Newman.....	50
2.7	Simulação computacional .....	52
2.7.1	Aplicação do método de modelagem acústica geométrica .....	54
2.8	Análise do ambiente construído .....	58
2.8.1	Instrumentos de avaliação.....	63
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>65</b>
3.1	Análise experiencial.....	65
3.1.1	Visita exploratória e análise <i>Walkthrough</i> .....	66
3.1.2	Questionário.....	76
3.2	Análise técnica .....	77
3.2.1	Caracterização Físico-construtiva.....	78
3.2.2	Método experimental.....	83
3.2.3	Método teórico .....	86
3.2.4	Estudo sobre as geometrias das salas.....	87
3.2.4.1	Proporção entre as dimensões.....	88
1.2	Método da Modelagem Acústica Geométrica .....	88
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>91</b>
4.1	Estudo de Caso 1 - sala de aula PV2-04.....	91

4.1.1	Análise dos questionários.....	91
4.1.2	Análise pelo método experimental .....	95
4.1.3	Análise pelo método teórico .....	98
4.1.4	Análise da Geometria .....	99
4.2	Estudo de caso 2 - sala de aula PV3-02.....	106
4.2.1	Análise dos questionários.....	106
4.2.2	Análise pelo método experimental .....	109
4.2.3	Análise pelo método teórico .....	113
4.2.4	Análise da geometria .....	114
4.3	Estudo de caso 3 - sala de aula PV4-03.....	120
4.3.1	Análise dos questionários.....	120
4.3.2	Análise pelo método experimental .....	123
4.3.3	Análise pelo método teórico .....	128
4.3.4	Análise da geometria .....	129
4.4	Considerações finais .....	139
5	CONCLUSÃO.....	141
	REFERÊNCIAS.....	142
	APÊNDICE A - Entrevista semiestruturada ( <i>Walkthrough</i> ) .....	154
	APÊNDICE B – Modelo de Questionário Aplicado ao Professor .....	155
	APÊNDICE C – Modelo de Questionário Aplicado ao Aluno.....	157
	APÊNDICE D – Respostas dos Questionários Aplicado aos Alunos e Professores.....	159
	APÊNDICE E – Cálculo do tempo de reverberação da sala PV2-04...	166
	APÊNDICE F – Cálculo do tempo de reverberação da sala PV3-02 ...	167
	APÊNDICE G – Cálculo do tempo de reverberação da sala PV4-03 ..	168

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema educacional brasileiro tem passado por profundas reflexões que colocam em pauta a discussão sobre a eficácia dos métodos pedagógicos praticados. De um modo geral, há uma inquietação dos educadores que têm se perguntado quais seriam as estratégias adequadas para interagir com uma geração de alunos que tem crescente acesso aos meios de comunicação liderados pela Internet.

Surgem, então, novos modelos que começam a buscar a formação de indivíduos mais participativos, conscientes de seus direitos e deveres, e preocupados com a transformação e o aperfeiçoamento da sociedade. Grande parte dessa nova visão se deve à transformação dos sistemas de comunicação e ao crescente acesso da sociedade à informação e, especificamente, as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC). Segundo o estudo *Horizon Report: “2014 Higher Education Edition”*, desenvolvido pelo *New Media Consortium* (JOHNSON et al., 2014), nos próximos cinco anos as aulas expositivas vão ceder espaço a métodos alternativos de ensino superior com doze novas tecnologias<sup>1</sup> emergentes com grande potencial para impacto direto no sistema de ensino.

Apesar de todos os esforços direcionados à implantação de novos métodos de ensino-aprendizagem, não se pode negar que a aula expositiva, ainda que muito criticada, prevalece como a prática mais utilizada no processo de

---

<sup>1</sup> BYOD (*Bring you own device*), computação em nuvens, games e gamificação, ferramentas de análise de aprendizado (*Learning Analytics*), tecnologia vestível, redes, geolocalização, aplicativos móveis e conteúdo aberto, inteligência coletiva, laboratórios móveis, ambiente pessoal de aprendizagem e aplicações semânticas.

produção de conhecimento. Segundo Klein (informação verbal),<sup>2</sup> ela representa de 60 a 70% do ensino em sala de aula, e ainda é o método mais utilizado na maioria das universidades por ser um recurso de transmissão de conhecimento “em massa”, ou seja, pode-se falar para uma plateia de dez ou cem alunos. O autor afirma que essa prática possui inúmeras qualidades, porém não é eficaz no que se propõe, pois não garante que essa mesma plateia aprenda todo conteúdo transmitido. Com essa visão, as novas propostas educacionais passaram a focar esforços nos resultados, ou seja, na aprendizagem, colocando o método como uma ferramenta para se obter bons resultados.

O processo de ensino deve ser um facilitador da aprendizagem, utilizando-se, para tanto, de meios e estratégias, a fim de atingir os objetivos educacionais, onde está inserida a aprendizagem. Já, o processo de aprendizagem é uma resposta do indivíduo ao estímulo do ambiente diante de uma situação-problema, considerando os aspectos da vida desse indivíduo. Assim, um processo se relaciona com o outro (ARAÚJO; SANTANA; RIBEIRO, 2009, p. 2).

Ao questionar sobre a eficácia dos métodos expositivos, pouco se discute sobre os reais motivos que levaram essa prática a um baixo rendimento. Uma pesquisa realizada com os estudantes do curso de Ciências Contábeis da Universidade Federal do Ceará (NOGUEIRA; GOMES, 2010) avaliou, durante as aulas, os estilos de aprendizagem com base na utilização dos canais sensoriais visual, auditivo e cinestésico (VAC). Concluiu-se que 56% dos entrevistados apresentaram características de estilo de aprendizagem pelo canal auditivo, um número não tão expressivo comparado aos 79% do cinestésico, porém de um grande significado, se avaliado como esse canal de aprendizagem pode estar sofrendo influências do meio em que são ministradas as aulas expositivas. Todos

---

<sup>2</sup> Palestra proferida por William Klein no Centro Universitário de Lavras – Unilavras, em julho de 2014.

os espaços destinados a essa prática estão realmente preparados para recebê-las? Do ponto de vista do conforto ambiental, pode haver influências negativas na prática do método expositivo? Como estão preparadas as salas do ponto de vista acústico?

### **1.1 Relevâncias do tema**

Com base nessas questões, o tema desta pesquisa adquire grande relevância, se analisado em seu contexto macro. Atualmente, edificações voltadas para o ensino superior, que, diariamente, abrigam 7,3 milhões de estudantes em todo país, segundo dados divulgados pelo Censo da Educação Superior (INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA - INEP, 2014), ainda estão submetidas ao uso sem uma legislação específica que regulamente um padrão acústico aceitável para um bom desempenho no aprendizado. A partir dessas constatações, um número considerável de pesquisas surgiu com o objetivo de explorar o potencial da avaliação pós-ocupação (APO), como metodologia de análise do desempenho do ambiente construído. Seus resultados vêm gerando dados suficientes para uma série de recomendações que balizam o processo de criação, desde sua concepção na fase de projeto até sua execução. Esse procedimento visa minimizar repetições equivocadas em novos projetos e maximizar as soluções adequadas, criando uma metodologia de avaliação que leve em consideração o nível de satisfação de seus usuários e, conseqüentemente, submetendo o processo projetual em uma constante evolução.

Nesse contexto, este trabalho trata da análise do conforto acústico das salas de aulas que compõem a estrutura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), fundamentada na metodologia de APO, com o objetivo de identificar



parâmetros de desempenho e reunir informações que contribuam para a criação de novas diretrizes de projeto.

## **1.2 Objetivos e metas**

Conduziu-se este trabalho, com o objetivo geral de analisar o desempenho acústico do ambiente de ensino-aprendizagem, no campus da UFPA, por meio de aplicações de metodologias de APO, incluindo pesquisas aos usuários e instrumentação para medições *in loco*. Serão avaliadas as soluções adotadas e seus resultados, comparando às normas específicas e recomendações de trabalhos correlatos. Com este trabalho, pretende-se criar subsídios que norteiem o desenvolvimento de novos projetos e reformas de readequação das edificações existentes. Esse procedimento evita repetições aleatórias e coloca o processo projetual, dentro do campus, em constante evolução.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

É fato que os métodos de ensino-aprendizagem baseiam-se, fundamentalmente, nos cinco sentidos. Com base na teoria da epistemologia genética de Jean Piaget (TEIXEIRA, 2005), o conhecimento resulta das ações e interações do sujeito com o ambiente onde vive, por meio dos processos cognitivos.

Todos os processos cognitivos e de produção de sentidos até hoje conhecidos e estudados por toda e qualquer ciência iniciam-se com o fenômeno da percepção. Os feixes perceptivos que a natureza emite nos afetam a mente pelas portas de entrada recebidos pelos órgãos dos sentidos. Assim, visão, audição, olfato, tato e paladar são lugares de recepção de um corpo antenado em seu entorno (OKIMOTO; FERREIRA; ZANNIN, 2005, p. 1).

Ao focar os interesses na audição, percebe-se que, diariamente, estamos sujeitos a um grau excessivo de informações auditivas que levam a mente, de forma intuitiva, a ignorar o que não é de interesse. Por outro lado, com o passar do tempo, o nível de aprendizagem se tornou cada vez mais dependente do controle desses excessos e as consequências só puderam ser observadas com o aumento dos níveis de ocorrências de fadiga mental e déficit de atenção.

Se, por um lado, os alunos têm sofrido consequências auditivas pela má qualidade acústica das salas, por outro os professores sofrem com estresse, fadiga e distúrbios vocais. Airey (2000) afirmou que um grande número de professores sofre com problemas de voz e garganta em decorrência de salas mal projetadas acusticamente.

Por consequência, tornou-se fundamental o controle de diversos parâmetros que subsidiam a qualificação dos espaços, identificando aqueles que, de forma insalubre, permanecem em uso e criando critérios de qualidade para

novos projetos. Nesse sentido e de forma abrangente, surgem no Brasil normas técnicas voltadas para a qualidade acústica dos ambientes, sejam eles externos ou internos. Destacam-se a NBR 10152 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1987), que trata dos níveis de ruído para conforto acústico, a NBR 12179 (ABNT, 1992), sobre o tratamento acústico em recintos fechados, a NBR 10151 (ABNT, 2000), sobre avaliação do ruído em áreas habitadas e, recentemente, NBR 15575 (ABNT, 2013), que trata sobre o desempenho de edificações habitacionais. Além destes, destacam-se, também, a publicação do Guia Acústica Arquitetônica (SIMÕES, 2011), publicado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), e o Manual Pró-Acústica (PIERRARD; AKKERMAN, 2013), que trata da norma de desempenho NBR15575 (ABNT, 2013).

A seguir, serão apresentados os principais conceitos relacionados às normas vigentes, sua aplicação prática e recomendações específicas.

## **2.1 Ruído de fundo**

“A poluição sonora é, hoje, depois da poluição do ar e da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas” (ZANNIN, 2002, p. 1).

Carvalho (2010) classificou o ruído de duas formas: ruídos aéreos e ruídos de impacto e descreve que sua nocividade está diretamente relacionada à sua frequência e em menor escala à sua intensidade.

Segundo Huang et al. (2011), qualquer som julgado indesejável pelo ocupante do posto de trabalho pode ser considerado como ruído. Carvalho (2010) relatou que esta é uma definição subjetiva, uma vez que o que é considerado ruído para algumas pessoas pode ter um entendimento oposto para outros, a exemplo disso cita uma banda de rock. Losso (2003) afirmou que o ruído de fundo pode ser considerado qualquer fonte sonora que não a fonte de

apreciação ou medição. Em salas de aula, o ruído de fundo é todo aquele ruído além da voz do professor.

Segundo Vallet (2000), entre os problemas causados pela exposição de ruído estão: 1) diminuição da atenção e fadiga mental; 2) atraso no aprendizado da leitura; 3) mascaramento da fala com decréscimo da inteligibilidade do conteúdo das aulas e 4) falta de interesse em entender o que está sendo ensinado.

Outro aspecto é que as necessidades para uma boa estanqueidade acústica, geralmente conflitam com os interesses bioclimáticos, e pode ter sua situação agravada em climas quentes, onde existe a necessidade de se manter as janelas abertas para que haja uma boa ventilação. Em outras palavras, uma edificação passiva eficiente, do ponto de vista térmico, pode ter desempenhos desastrosos do ponto de vista acústico, ou vice-versa (LOSSO, 2003). Tal situação torna-se ainda mais complexa quando as necessidades acústicas são conflitadas às normas construtivas, código de obra municipal e instrução técnica do corpo de bombeiros. Esse assunto ainda transcende os aspectos arquitetônicos e torna-se objeto de estudos de ainda transcende os aspectos arquitetônicos e torna-se objeto de estudos de controle de ruídos urbanos, uma vez que se entende que uma edificação educacional que associa ventilação natural a baixos níveis de ruídos, necessita estar localizada em área de níveis de ruídos urbanos adequados para o seu uso (SLAMA; NIEMEYER, 1998).

Segundo Airey (2000), as interferências do ruído urbano nas salas de aula são evidenciadas nos meses quentes, período em que as janelas e portas permanecem mais abertas. Essa mesma observação se aplica aos ruídos do próprio ambiente escolar, que podem ter origem nos alunos que circulam em um corredor, nos professores de uma sala de aula adjacente, em práticas esportivas próximas ou mesmo em equipamentos da própria infraestrutura.

Sempre que possível deve se controlar o ruído exterior, por meio do planejamento do terreno e das edificações. O envelopamento<sup>3</sup> da edificação deve ser a última alternativa a se adotar (GIBBS, 1998).

### **2.1.1 Normas Técnicas**

No Brasil, a NBR 10152 (ABNT, 1987) define padrões mínimos aceitáveis de nível de ruído para diversos ambientes. No caso de salas de aula em escola, os níveis estão entre 40 a 50 dB(A)<sup>4</sup>. O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para essa finalidade.

---

<sup>3</sup> Envelopamento é definido como qualquer superfície que tenha função de fechamento de uma construção, também designado como planos de vedação.

<sup>4</sup> Filtro de ponderação de frequência. Aproxima a sensação auditiva correspondente à curva isofônica de 40 fones (desenfatiza baixas frequências)

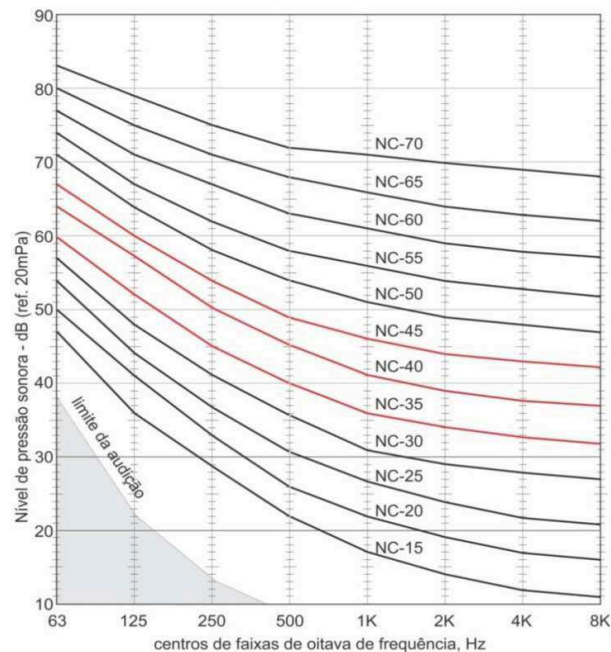


Figura 1 Curvas de avaliação de ruído (NC)

Fonte: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - Ashrae (1980)

Para avaliar o grau de perturbação que um determinado ruído provoca no ouvido, a norma recomenda aplicar as Curvas de Avaliação de Ruído (Figura 1), designada pela sigla NC (*Noise Criteria*). Pela comparação do espectro de ruído existente na sala com as curvas NC, é possível identificar as bandas de frequências mais significativas e adotar medidas de correção. A análise é feita por bandas de oitava e está compreendida entre faixas de 63Hz a 8Khz.

As curvas NC seguem, de maneira aproximada, a evolução da sensibilidade do ouvido humano, uma vez que este não percebe todas as frequências de forma igual. Dessa forma, as NC tendem a aceitar um Nível de Pressão Sonora (NPS) maior para as baixas frequências (sons graves), visto que o ouvido humano tem menor sensibilidade, à medida que a frequência diminui.

Existe um total de 12 curvas que variam de NC15 a NC75, cada uma delas utilizadas para estabelecer uma classe de uso, designada conforme especificidades acústicas do espaço. A NBR10152 (ABNT, 1987) recomenda que salas de aula tenham espectros de ruídos compreendidos entre NC 35 e NC45 (Figura 1), sendo a curva inferior considerada de níveis de conforto e a curva superior de níveis aceitáveis. Curvas superiores a estas são consideradas de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde. A adequação do ruído de fundo às curvas NC supõe o primeiro passo para se conseguir um conforto acústico e um grau de inteligibilidade adequado (ISBERT, 1998).

Em fevereiro de 2003, foi publicada, nos Estados Unidos, pelo *American National Standard Institute*, a norma ANSI S 12.60 – *Acoustical Performance Criteria, Design Requirements and Guidelines for Schools* (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ANSI, 2014a, 2014b). Trata-se da primeira norma no mundo que especifica parâmetros sobre a acústica de escolas. A norma estabelece valores máximos de 35 e 40 dB, incluindo sistemas de climatização, conforme Tabela 1. A norma especifica que a média do ruído, em uma hora, não deve ultrapassar 40dB(A), não podendo exceder esse valor em mais de 10% do tempo.

Tabela 1 Máximo de ruído de fundo para salas de aula

<b>Ambiente de ensino</b>	<b>Média do ruído de fundo dB(A)<sup>5</sup></b>
Ambiente com volume $\leq 566 \text{ m}^3$	35
Ambiente com volume $> 566 \text{ m}^3$ e ambientes auxiliares	40
Corredores e ambientes não usados para ensino	45

Fonte: ANSI (2014a, 2014b)

<sup>5</sup> Medido em uma hora

A título de referência, cabe citar os valores recomendados em outros países para salas de aulas (Tabela 2), levantados por Vallet (2000).

Tabela 2. Valores de ruído de fundo recomendados para salas de aula em diversos países

<b>País</b>	<b>Ano da norma</b>	<b>Critério</b>	<b>Nível Limite</b>
Bélgica	1997/87	LeqA <sup>6</sup>	30-45
França	1995	LeqA	38
Alemanha	1989	-	30
Itália	1975	-	36
Portugal	-	-	35
Reino Unido	1997	Leq 1h	40
Suécia	1995	Leq	30
Turquia	1986	Leq	45

Fonte: Vallet (2000).

## 2.2 Relação sinal / ruído

A diferença entre a intensidade do sinal da fonte sonora e o ruído de fundo é chamada de razão sinal ruído (S/R). No ambiente de aprendizagem, normalmente, a fonte é a voz do professor. Para se atingir um grau adequado de inteligibilidade, é necessária uma diferença mínima entre o sinal da fala e o ruído de fundo.

<sup>6</sup> LeqA – Nível Sonoro Equivalente: Nível obtido, a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A), referente a todo o intervalo de medição.



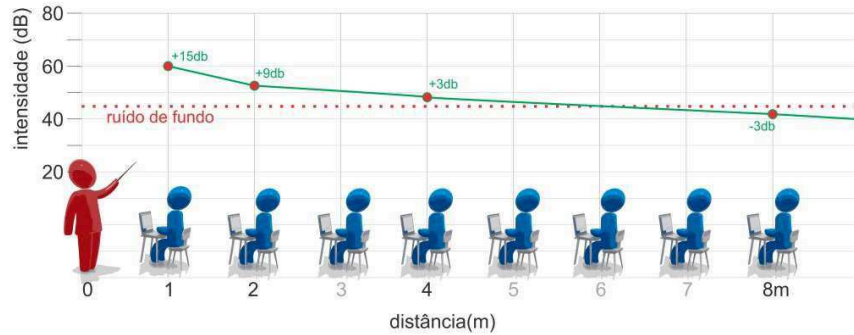


Figura 2 Demonstração da relação S/R em sala de aula  
Fonte: Autor

Uma pesquisa desenvolvida no Canadá avaliou as intensidades dos ruídos dos ambientes nos diversos níveis de ensino, da educação infantil, passando pelo ensino fundamental, médio e superior. Dentre as principais constatações, observou-se que, em todas as esferas avaliadas, a média da razão S/R estava em torno de 5dB e que as metas propostas de 15dB raramente são atingidas (Figura 3).

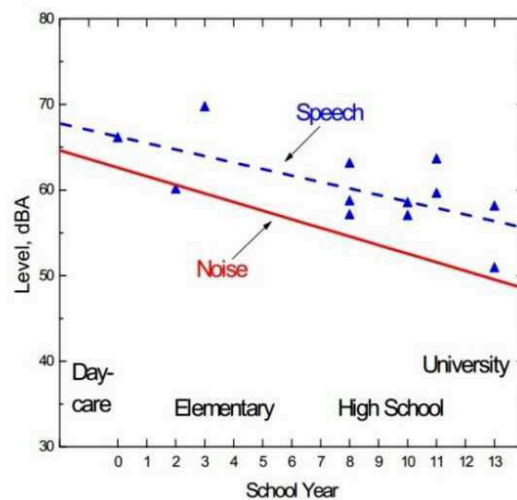


Figura 3 Intensidade de sinal na fonte e ruído de fundo em diferentes níveis de escolaridade  
Fonte: Picard e Bradley (2001)

Também ficou evidente que quanto mais jovem são os alunos, maior é a tendência do professor em elevar a intensidade da sua voz, sintoma claro do efeito “Lombard” ou efeito “coquetel”, teoria que descreve a tendência natural do ser humano de falar mais alto em ambientes mais ruidosos (BRADLEY, 2002).

Salas de aula com níveis de ruídos elevados, onde o professor é submetido a uma frequência de esforços vocais, podem causar desordens em seu aparelho fonador e consequente diminuição da sua inteligibilidade (MATTISKE; OATES; GREENWOOD, 1998).

Picard e Bradley (2001), então, concluíram que os métodos convencionais que determinam a razão sinal/ruído podem superestimar os níveis da fala, já que os resultados são obtidos a partir do ruído de fundo existente. Para uma avaliação mais precisa, deve-se medir a intensidade sonora da voz do professor e subtraí-la do ruído de fundo, para, então, considerar esse nível como comparação com o ruído de fundo.

Outra consequência é em relação aos alunos que se encontram mais distantes. Carvalho (2010) cita que, ao dobrarmos a distância de um receptor em relação à fonte sonora, percebe-se uma atenuação na ordem de 6dB. À medida que sua distância em relação ao professor aumenta, a voz tende a chegar com menor intensidade, misturada ao campo reverberante da sala, ou seja, incorporada ao ruído de fundo. Dessa forma, um aluno que se encontra a oito metros do professor (Figura 2), em uma sala com ruído de fundo a 45dB, está em condições críticas de entendimento, uma vez que a razão S/R na sua posição é de -3dB.

### 2.2.1 Valores recomendados de relação sinal e ruído (S/R)

A NBR 10152 (ABNT, 1987) estabelece 40 dB como valor máximo de ruído de fundo em salas de aula, porém não cita sua relação com o sinal. Segundo Fernandes (2006), o nível normal da voz de um professor é de 65 dB, chegando a 75 dB sem gritar. Diante disso, ele conclui que +10dB seria uma relação coerente para toda a sala, considerando que existem interferências nos valores pela distância entre aluno e o professor e ruídos intermitentes que fariam com que essa diferença inicial de +25dB (existente entre o ruído de fundo e a fala do professor) caísse no máximo para +10dB.

A norma ANSI S12.60 (ANSI, 2014a, 2014b) especifica que, para uma ótima inteligibilidade (>90%), a relação S/R deve ser maior que +10dB.

Segundo a *American Speech-Language-Hearing Association* - ASHA (2005)<sup>7</sup>, nas escolas, essa relação (S/R) deve ser, pelo menos, +15dB. Quanto maior essa diferença, melhor a capacidade de entendimento pelos ouvintes, pois a voz sobressai-se em relação ao ruído

### 2.2.2 Cálculo da Relação Sinal e Ruído (S/R)

Para determinar a relação S/R subtrai-se o ruído de fundo do NPS medido com a contribuição da voz do professor e do ruído de fundo, conforme equação (1). Esse procedimento irá determinar o NPS somente da voz do professor (sinal), sem a contribuição do ruído de fundo, evitando superestimar o valor, conforme sugerido por Picard e Bradley (2001).

---

<sup>7</sup> Responsável pelas normas da ANSI S12.60 (ANSI, 2014a, 2014b) sobre o desempenho acústico, exigências de projeto e diretrizes para escolas.

em que:

$NPS_{voz}$  = Nível de pressão sonora da voz do professor em dB (A)

$$NPS_{voz} = 10 \log\left(10^{\frac{NPS_{sala}}{10}} - 10^{\frac{RF}{10}}\right)$$

$NPS_{sala}$  = NPS com contribuição do ruído de fundo e da voz do professor em dB(A) (1)

RF = Ruído de fundo em dB(A)

Uma vez identificado o NPS somente da voz do professor e do ruído de fundo, tem-se a RSR subtraindo-se um do outro, conforme equação (2).

sendo:

$$RSR = NPS_{voz} - RF \quad RSR = \text{Relação sinal/ruído} \quad (2)$$

Esses parâmetros são fundamentais em uma avaliação acústica, pois darão subsídio para identificar as causas de possíveis falhas de compreensão por parte dos alunos.

### 2.3 Inteligibilidade da fala

Segundo Nepomuceno (1994), inteligibilidade da fala é a relação entre o número de palavras ou sílabas compreendidas e o número de palavras, sentenças ou sílabas faladas, admitindo-se pessoas otologicamente normais. Pode ser expressa em percentagem, sendo que quanto menor o valor, menor será o entendimento do sinal acústico. Portanto, uma inteligibilidade de 25% significa que em uma frase, a cada quatro palavras somente uma é compreendida.

Makrinenko (1994) diz que a inteligibilidade da fala é reflexo de outros parâmetros acústicos como: nível do sinal da fala, nível de ruído de fundo, tempo de reverberação e o padrão das reflexões do som. Em outras palavras, a boa inteligibilidade é determinada pelo alto nível da fala, baixo nível do ruído de fundo e tempo de reverberação e padrão de reflexão breve e sem atrasos acentuados nas reflexões iniciais.

Seep et al. (2002) afirmam que, em salas de aula, é possível prever a inteligibilidade da fala, a partir do tempo de reverberação (TR)<sup>8</sup> e da relação S/R. Conforme os autores, uma sala de 0,5 segundo de tempo de reverberação e +10 dB de S/R, terá, aproximadamente, 90% de inteligibilidade da fala. Se o S/R for mantido em +10 dB, mas o tempo de reverberação aumentar para 1,5 segundos, a inteligibilidade cai para aproximadamente 75%.

Fernandes (2006) sugere que todos os parâmetros (ruído de fundo, tempo de reverberação e relação S/R) podem ser resumidos em um único índice: inteligibilidade da voz.

Esse é um parâmetro que está diretamente relacionado ao desempenho de uma aula expositiva. Uma sala com baixa inteligibilidade pode gerar reflexos extremamente negativos e “silenciosos”, no processo de ensino-aprendizagem, visto que é um parâmetro difícil de ser medido e, raramente, será aferido pelos próprios professores e apontado como causa do baixo aproveitamento dos alunos.

#### **2.4 Absorção, reflexão e transmissão sonora**

A energia sonora que incide ( $E_i$ ) sobre uma superfície é decomposta em energia refletida ( $E_r$ ) e absorvida ( $E_a$ ), conforme Figura 4. Da energia absorvida,

---

<sup>8</sup> Segundo a NBR 12179 (ABNT, 1992), tempo de reverberação é o tempo necessário para que o som sofra um decréscimo de intensidade de 60dB.

uma parte dela retorna ao ambiente, parte se transforma em calor e a outra parte é transmitida ( $E_t$ ) para o ambiente adjacente (SALES, 2001).

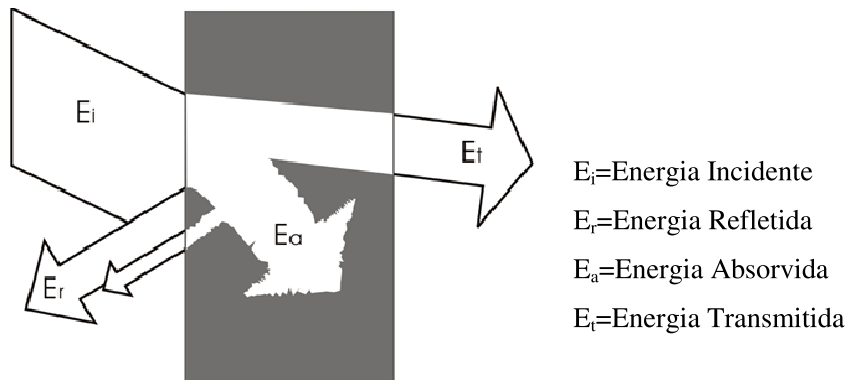


Figura 4 Reflexão, absorção e transmissão  
 Fonte: Marco (1990)

Absorção sonora é a característica inerente de cada material e representa sua capacidade de absorver parte da energia sonora que incide sobre ele e transformá-la em outra forma de energia, geralmente térmica (BERANEK, 1960; HARRIS, 1998).

Uma onda sonora pode ser refletida e absorvida, ao mesmo tempo, por uma parede. A relação entre a energia incidente e essas energias determinam o coeficiente de absorção  $\alpha$ , de reflexão  $r$  e de transmissão  $\tau$  (TORO, 2005).

$$\alpha = \frac{\text{Energia absorvida}}{\text{Energia incidente}} \quad (3)$$

$$r = \frac{\text{Energia refletida}}{\text{Energia incidente}} \quad (4)$$

$$\tau = \frac{\text{Energia transmitida}}{\text{Energia incidente}} \quad (5)$$

Todo material possui um coeficiente de absorção e é expresso por um número entre 0 e 1. Nesse caso, valores próximos de 0 determinam baixa absorção, enquanto valores próximos de 1 determinam alta absorção.

A absorção sonora de um determinado material está diretamente relacionada ao seu coeficiente de absorção, a frequência<sup>9</sup> da fonte sonora e o ângulo de incidência sobre a superfície (BRUEL; KJAER, 2003).

Segundo Carvalho (2010), bons absorventes acústicos são necessariamente materiais porosos ou fibrosos, e atuam com maior eficiência nas frequências altas, em razão do seu comprimento de onda ( $\lambda$ ) ser pequeno. Frequências baixas possuem comprimento de onda ( $\lambda$ ) grande e, por isso, têm mais dificuldade de penetrar em materiais porosos.

Fenômenos como reverberação, eco e ondas estacionárias têm suas origens no baixo coeficiente de absorção dos materiais, conseqüentemente ocorrem em salas com superfícies muito refletivas e se agravam quando essas superfícies são paralelas.

Os sons que são refletidos em uma superfície e retornam em um intervalo de tempo superior a 1/15 segundos são chamados de eco (CARVALHO, 2010). Esse efeito é caracterizado pela formação de dois sons. Isso acontece, porque o ouvido humano só é capaz de distingui-los separadamente, após esse intervalo. Este tempo de 1/15 à velocidade do som (340 m/s), corresponde a uma distância de 22 metros percorridos, ou seja, 11 metros de ida e 11 metros de volta (SILVA, 2002). Salas com medidas superiores a estas estão sujeitas a formação de eco.

---

<sup>9</sup> Segundo Carvalho (2010), frequência é o número de oscilações cíclicas de pressão e depressão em um determinado intervalo de tempo e é expresso por Hz. Quanto maior o número de oscilações por intervalo de tempo maior será a frequência.

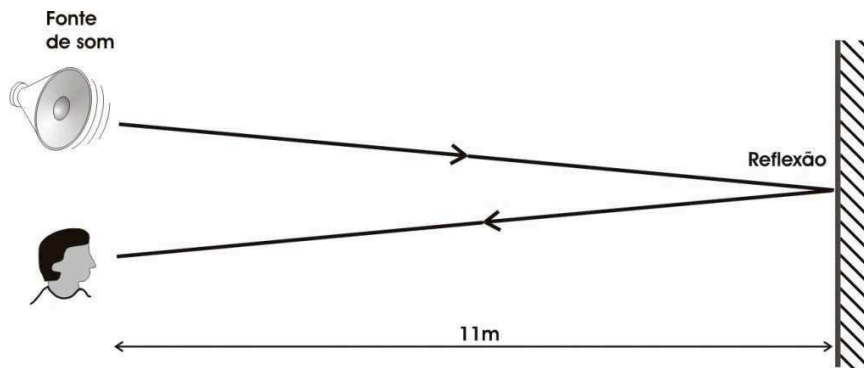


Figura 5 Distância mínima para formação de eco  
 Fonte: Machado (2012)

Outro fenômeno similar e originado das reflexões de superfícies paralelas é o eco palpitante (*flutter echo*). Se a fonte encontra-se entre duas superfícies paralelas e refletivas ou superfícies côncavas, mesmo com distâncias inferiores a 11 metros, poderão ocorrer muitas reflexões antes que o som se torne inaudível. Em salas de aula, esta é uma patologia muito comum. Seu efeito é similar à resposta de uma “campainha” e destrói de forma agressiva a inteligibilidade do som falado, pois torna os fonemas consoantes desfocados, reduzindo a “presença” do som.

A distância da fonte e sua imagem são determinantes para o tipo de efeito que se produz. Quando o tempo de resposta de uma reflexão é inferior a 1/15 segundos, o ouvido humano percebe o som de forma única e prolongada. A esse fenômeno dá-se o nome de reverberação.

## 2.5 Reverberação

Reverberação é um dos principais fenômenos e atua de forma ativa no desempenho acústico de uma sala de aula. Níveis exagerados podem trazer consequências negativas para a inteligibilidade da fala. Dessa forma, torna-se fundamental entender seus efeitos, causas e consequências.



### 2.5.1 Definição

Reverberação é o fenômeno acústico que se desenvolve em ambientes fechados. É o parâmetro acústico qualitativo mais importante em sala de aula (KNUDSEN; HARRIS, 1988).

Do ponto de vista físico, é o resultado da diferença entre o tempo que o som leva para percorrer uma distância direto da fonte até o receptor e o tempo para percorrer o caminho mais longo, por meio das reflexões nas superfícies (Figura 6). Seu efeito produz uma sensação prolongada e é decorrência da sobreposição dos sons.

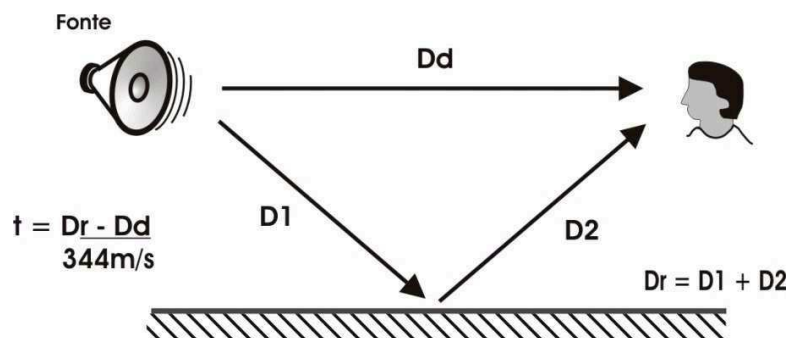


Figura 6 Formação de reverberação (som refletido e som direto)  
Fonte: Machado (2012)

De acordo com a NBR 12179 (ABNT, 1992), tempo de reverberação é o tempo necessário para que um som deixe de ser ouvido, após a extinção da fonte sonora. É expresso em segundos. Tecnicamente, é representado pela sigla  $TR_{60}$ , e é medido como o tempo necessário para que o som sofra um decréscimo de 60 dB, conforme normas internacionais (Figura 7).

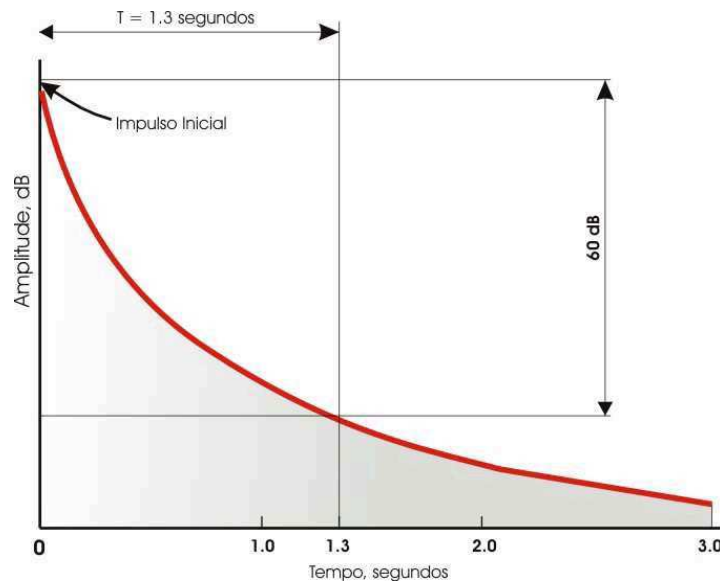


Figura 7 Tempo de Reverberação ( $TR_{60}$ ): amplitude x tempo  
 Fonte: Cooper (1996)

O tempo de reverberação de uma sala está diretamente relacionado ao seu volume, área de absorção dos materiais que compõem as superfícies internas (parede, teto e piso), ocupação da sala (pessoas, móveis e objetos) e de seus respectivos coeficientes de absorção (KOWALTOWSKI, 2011).

### 2.5.2 Valores recomendados para o tempo de reverberação

A Organização Mundial da Saúde (WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO, 2001) apresenta recomendações de valores de  $T_{OR}$  em salas de aula, considerando as frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, conforme apresentado na Tabela 3

Tabela 3 Valores de  $TR_{60}$  máximo para ambientes de ensino segundo a Organização Mundial de Saúde

Sala (mobiada e desocupada)	TR [s]
	500, 1000 e 2000Hz
Volume interno < 250m <sup>3</sup>	0,4 < TR < 0,8
Volume interno > 250 m <sup>3</sup>	0,6 < TR < 1,2

Fonte: WHO (2001)

Fernandes (2002) apresenta os valores recomendados para diversos países, conforme Tabela 4, a seguir.

Tabela 4 Valores de  $T_{OR}$  recomendados para salas de aulas em diferentes países

País	Norma	Tempo de Reverberação	Observação
Portugal	Lei 251/87	1,0	125 - 250Hz
		0,6 - 0,8	500 - 4KHz
França	-	0,4 - 0,8	Salas ≤ 250m <sup>3</sup> , 500-2KHz
		0,6 - 1,2	Salas > 250m <sup>3</sup> , 500-2KHz
Reino Unido	BB 87	0,5 - 0,8	-
Estados Unidos	ANSI	0,6 - 0,7	S/R ≥ 15Db(A)
Estados Unidos	ASHA	0,4	S/R ≥ 15Db(A)
Finlândia	-	0,6 - 0,9	-
Itália	-	0,5 - 2	Depende da freq. E vol.
OMS	-	0,6	Frequência 500Hz
Bélgica	-	0,9 - 1,5	Salas entre 100 e 1000m <sup>3</sup>
Japão	-	0,5 - 0,7	-
Suécia	-	0,5 - 0,8	-
Suíça	SAI181/11	0,6 - 1,0	-

Fonte: Karabiber e Vallet (2003), Vallet (2000) e Viveiros et al. (2002).

A NBR12179 (ABNT, 1992) determina valores de TR para salas de conferências, porém, no Brasil, ainda não existe nenhuma recomendação específica para salas de aula. A ANSI S 12.60 (ANSI, 2014a, 2014b) apresenta

valores que variam entre 0,6 e 0,7 segundo, conforme dimensões das salas (Tabela 5).

Tabela 5 Valores de  $TR_{60}$  máximo para ambientes de ensino segundo norma ANSI S 12.60

<b>Sala (mobiada e desocupada)</b>	<b>Tempo de Reverberação máximo permitido</b>
Volume interno $\leq 286 \text{ m}^3$	0,6 s
Volume interno $> 286 \text{ m}^3$ e $\leq 566 \text{ m}^3$	0,7 s
Volume interno $> 566 \text{ m}^3$	Nenhuma exigência

Fonte: ANSI S 12.60 (ANSI, 2014a, 2014b)

### 2.5.3 Tempo ótimo de reverberação ( $T_{or}$ )

Para que haja condições adequadas, todo ambiente projetado deve prever o tipo de uso a que se destina, e seu  $TR_{60}$  deve ser ajustado, conforme sua finalidade. Existe um tempo de reverberação ideal ou tempo ótimo de reverberação ( $T_{or}$ ) para cada tipo de espaço, segundo o volume e a finalidade a que o recinto se destina. Salas com  $TR_{60}$  muito longo ou “salas vivas” são desfavoráveis à inteligibilidade, pois ocorrem sobreposições excessivas das palavras. Se, ao contrário, forem salas com  $TR_{60}$  muito curto, ou “salas mortas”, poderão desfavorecer a percepção nos pontos mais afastados da fonte, pois não serão alcançados facilmente.

Em salas de aula, é fundamental manter o tempo de reverberação baixo, porém não deve estar próximo de zero, uma vez que as primeiras reflexões (*early reflection*) ajudam a reforçar a voz do orador, principalmente, quando não se está falando diretamente para o aluno (BRADLEY, 1986).

O processo mais conhecido para definição do  $T_{or}$  é através do diagrama de Beranek (1962), ilustrado na Figura 8. Adotado pela NBR 12179 (ABNT, 1992), esse método determina um tempo de reverberação (em segundos) de um

sinal sonoro na frequência de 500Hz, conforme a utilização do espaço e o seu volume (em m<sup>3</sup>).

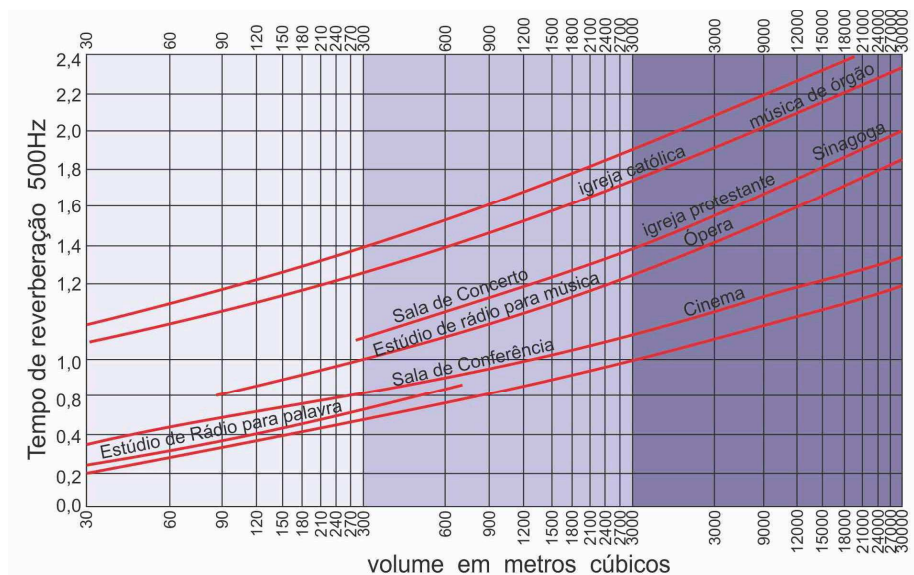


Figura 8 Tempo ótimo de reverberação (Tor) em 500Hz – Diagrama de Beranek (1962)  
Fonte: Carvalho (2010)

Como quase a totalidade dos estudos em acústica, o  $TR_{60}$  está diretamente relacionado à frequência do sinal (SEEP et al., 2000), portanto conhecer a utilização do espaço é fundamental para se distinguir as faixas de frequências avaliadas. Sabe-se que o ser humano é capaz de ouvir sinais sonoros entre as frequências de 20Hz a 20KHz, porém, no que diz respeito à fala, sua habilidade está compreendida entre 500Hz e 3000Hz (SILVA, 1983). Losso (2003) cita que nos ambientes onde se predomina a fala, é usual a avaliação nas bandas de 500Hz, 1KHz e 2KHz.

A partir da definição de um tempo de reverberação ideal para a frequência de 500Hz (Figura 8), aplica-se o fator de correção (Figura 9) para adaptação dos tempos em outras frequências, adequando-os às curvas isofônicas, que delimitam a sensibilidade do ouvido humano para perceber com mais

facilidade as frequências altas e com mais dificuldade as frequências baixas. Dessa forma, para uma sala com tempo de reverberação de 0,8 segundos tem-se, de acordo com o diagrama de correção, tempos de 0,98 segundos para a frequência de 200Hz, 0,76 segundos para a frequência de 1KHz e 0,76 segundos para a frequência de 2KHz.

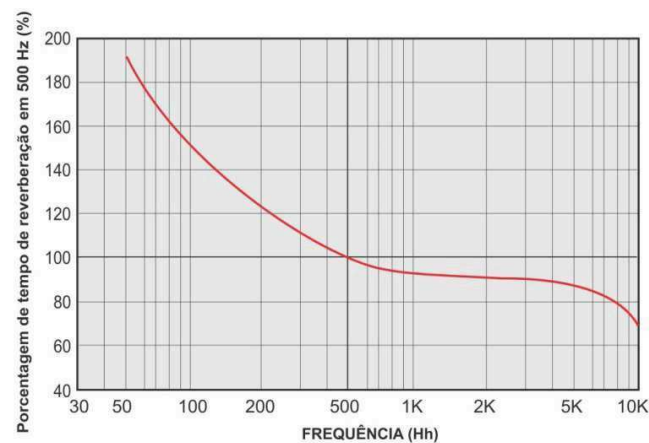


Figura 9 Fator de correção para obtenção dos tempos de reverberação recomendado para outras frequências.

Fonte: Bistafa (2006)

#### 2.5.4 Cálculo do tempo de reverberação (TR)

O TR pode ser obtido, por meio de equações matemáticas, também conhecido como método teórico ou por meio de medições com instrumentações adequadas, o método experimental (ZANNIN et al., 2005).

Existem dois modelos para calcular o tempo de reverberação de um ambiente, conforme NBR 12179 (ABNT, 1992), sendo exposto a seguir, o modelo de Sabine:

em que:

TR = tempo de reverberação (em segundos)

$$TR = \frac{0,163 V}{\sum S_n \cdot \alpha_n} \quad (6)$$

V = volume da sala (em m<sup>3</sup>)

S<sub>n</sub> = superfície dos diversos materiais usados no interior do local (em m<sup>2</sup>)

α<sub>n</sub> = coeficiente de absorção de cada material

Embora seja uma fórmula prática de ser aplicada, Eyring verificou uma falha na fórmula de Sabine. Ao calcular um ambiente com absorção total, ou seja, α<sub>sab</sub> = 1, o TR não é nulo. Dessa forma, Eyring propõe a seguinte derivação (BISTAFA; BRADLEY, 2000):

sendo:

TR = tempo de reverberação (em segundos)

$$TR = \frac{-0,163 V}{S \ln (1-\alpha_m)} \quad (7)$$

V = volume da sala (em m<sup>3</sup>)

ln = logaritmo neperiano

α = coeficiente médio de absorção

S = área total das superfícies (em m<sup>2</sup>)

O coeficiente médio é dado através da equação:

$$\alpha_m = \frac{\sum S \alpha}{\sum S} \quad (8)$$

ABNT (1992) e Fasold e Veres (2003), consideram adequado o uso da fórmula de Sabine quando α < 0,30 e da fórmula de Eyring, quando α ≥ 0,30. Isso significa que, quanto menor for o α, mais refletiva será a superfície. Sendo

assim, a fórmula de Sabine não é recomendada para salas muito “mortas”, ou seja, com alto índice de absorção.

Toro (2005) sugere a seguinte comparação entre as duas formulações.

A fórmula de Sabine deve ser usada quando:

- o coeficiente médio de absorção for baixo (menor que 0,2);
- os materiais absorventes estejam distribuídos uniformemente;
- os coeficientes de absorção não são precisos;
- não se exige grande precisão nos cálculos.

A fórmula de Eyring deve ser usada quando:

- os materiais absorventes estejam distribuídos uniformemente;
- conhecem-se com exatidão os coeficientes de absorção;
- exigem-se cálculo preciso de tempo de reverberação.

Hohmann, Setzer e Wehling (2004), baseados na fórmula de Sabine, propõem um complemento, considerando as contribuições dos elementos relativos aos aspectos funcionais do espaço (lousas, mesas, cadeiras, pessoas, etc.) e também a contribuição do ar como agente influenciador na absorção do som. Dessa forma tem-se:

em que:

$$TR = \frac{0,163 V}{A} \quad TR = \text{tempo de reverberação (em segundos)} \quad (9)$$

$V$  = volume da sala (em  $m^3$ )

$A$  = área de absorção (em  $m^2$ )

“ $A$ ”, pode ser calculado da seguinte equação:

$$A = \sum \alpha \times S$$

sendo:  $\sum$  é o somatório dos produtos do coeficiente de absorção  $\alpha$  de cada material de revestimento pela sua respectiva área  $S$ .



$$A = A_{PR} + A_O + A_{PES} + A_L$$

$A = A(f)$	Absorção equivalente	$m^2$
$A_{PR} = A_{PR}(f)$	Absorção equivalente das paredes	$m^2$
$A_O = A_O(f)$	Absorção equivalente dos objetos	$m^2$
$A_{PES} = A_{PES}(f)$	Absorção equivalente referente às pessoas na sala	$m^2$
$A_L = A_L(f)$	Absorção equivalente do ar no ambiente	$m^2$
$f$	Frequência	Hz

Fonte: Hohmann, Setzer e Wehling (2004)

Embora exista uma influência clara do ar na absorção sonora, sua ação é significativa apenas em grandes ambientes, com volumes iguais ou acima de  $1.000m^3$  (FASOLD; VERES, 2003).

Zannin et al. (2005) fizeram uma análise comparativa dos resultados obtidos por meio do método teórico e experimental, aplicando-os em cinco salas de aulas com diferentes padrões construtivos. Para análise teórica, ele utilizou a fórmula de Sabine, denominada, neste experimento, como Método Direto, e a proposta de Hohmann, Setzer e Wehling (2004), denominada Método Indireto. Os resultados obtidos mostraram que o método indireto (equação de Sabine modificada), tem uma grande aproximação com o método experimental, ao contrário do método direto, que demonstrou variações, principalmente, nas baixas frequências. Uma das condições para a aplicação desse método é que o coeficiente médio de absorção sonora do ambiente deve ser de até  $\alpha_m = 0,3$  (FASOLD; VERES, 2003).

## 2.6 Acústica geométrica

De acordo com Kuttruff (2000), ao se analisar a acústica de uma sala, utilizando a técnica geométrica, o conceito de acústica sonora é substituído pelo conceito de raios sonoros. Em outras palavras, trata-se o comportamento do som, pelas regras da ótica geométrica, que determina que, em uma superfície

especular, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Esse método é muito útil, pela facilidade de se entender o comportamento das reflexões, e só é possível no caso em que o comprimento de onda é relativamente pequeno, o que ocorre nas médias e altas frequências (PEREIRA; SOEIRO; MELO, 2011). Se considerarmos que as principais frequências para a inteligibilidade ficam compreendidas entre 500 e 3000 Hz (SILVA, 1983), ou seja, comprimentos de onda que vão de 68 centímetros a 11 centímetros, conclui-se que o método é apropriado.

Losso (2003) afirma que a análise geométrica pode ser um fator determinante na eficiência acústica de uma sala de aula. Deve-se usar as reflexões de forma favorável para incremento da inteligibilidade, direcionando as primeiras reflexões aos ouvintes mais distantes da fonte, onde, a princípio, o som chega com mais dificuldade. Esse procedimento maximiza a distribuição da energia sonora e evita reflexões desnecessárias (Figura 10).

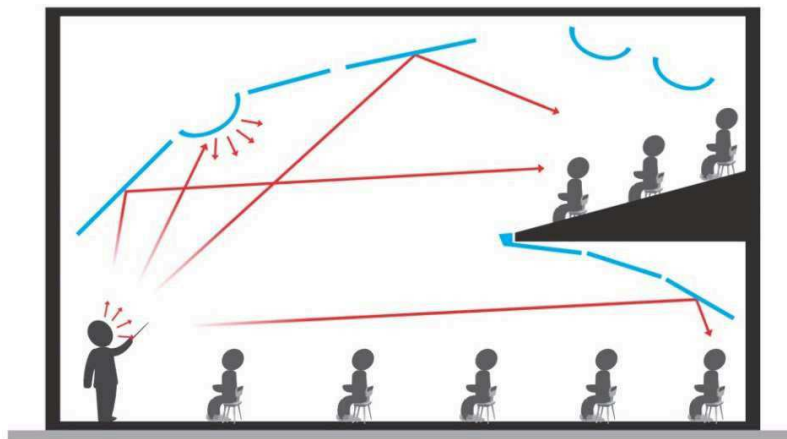


Figura 10 Corte esquemático: Utilização de refletores para maximizar distribuição sonora

Fonte: adaptado de Losso (2003)

É comum encontrar, em salas de aula, situações como forros em alturas exageradas ou inclinações desfavoráveis ou interferência de vigas ao longo das

lajes. Esses detalhes ajudam a majorar o tempo de reverberação e criam regiões “vivas” ou “mortas”, em decorrência de focos acústicos (AIREY, 1988). Na Figura 11, exemplifica-se como a presença de vigas expostas no teto de uma sala pode interferir de forma negativa, prejudicando a distribuição das primeiras reflexões.

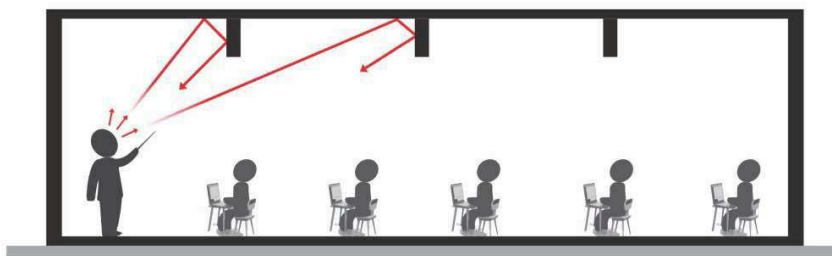


Figura 11 Corte esquemático: Interferências de vigas nas reflexões sonoras  
Fonte: adaptado de Losso (2003)

Geometrias inadequadas, ao que se destina um ambiente, podem dificultar a correção do tempo de reverberação, demandando um uso substancial de materiais absorventes e refletores. Essas ações em consequência elevam o custo do investimento final (CARVALHO, 2010).

A norma DIN 1 8041 – *SCHALLSCHUTZ IN SCHULEN* (Controle de Ruído em Escolas) recomenda que salas de aula com boas condições acústicas devem ter de 4 a 5 m<sup>3</sup> por aluno (LORO, 2003).

### 2.6.1 Diagrama de Bolt, Beranek e Newman

Bolt, Beranek e Newman (1946) conceberam um diagrama de proporções entre largura, comprimento e altura, por meio do qual é possível verificar se as dimensões previstas para um local darão resultados acusticamente aceitáveis, levando em consideração seus modos acústicos e densidade modal.

As dimensões são relacionadas da seguinte forma: menor dimensão (Z), maior dimensão (Y), dimensão média (X):

$$\frac{Z}{Z} : \frac{X}{Z} : \frac{Y}{Z}$$

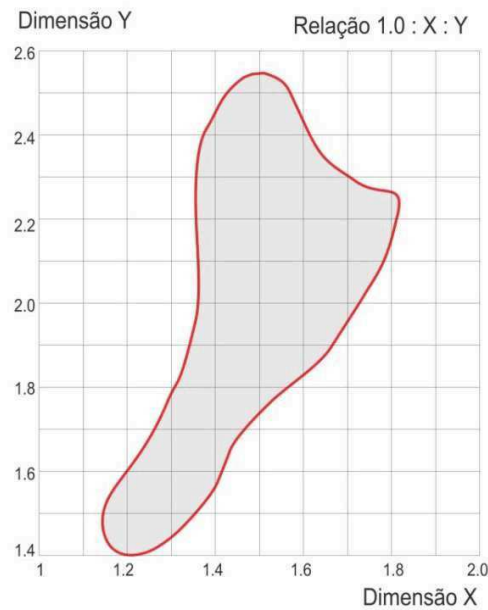


Figura 12 Diagrama de Bolt  
Fonte: Bolt (1946)

A razão obtida pelo cálculo acima fornece a posição exata nas coordenadas do diagrama. Os pontos localizados dentro da área cinza indicam que as proporções avaliadas estão no âmbito entre as melhores encontradas para se evitar efeitos acústicos indesejados como a ressonância.

Os autores estabeleceram as seguintes regras básicas para definição das proporções adequadas (SILVA, 2002):

- a) Entre as proporções adotadas não devem existir dimensões iguais ou múltiplas entre si, com 5% de tolerância para mais ou para menos. Essa medida evita que haja ressonâncias, também chamados “modos” ou “ondas estacionárias”;

- b) A maior dimensão não pode ser igual ou maior que três vezes a menor. Por exemplo, se uma sala tiver três metros de altura, deve ter no máximo 8,70 metros de comprimento;
- c) Convencionando que a maior dimensão é o comprimento (C), a menor é a altura (H) e a medida intermediária é a largura (L), suas proporções devem atender a equação (10).

$$\frac{C}{H} > \frac{L}{H} \quad e \quad \frac{C}{H} \leq (4,5 \times \frac{L}{H} - 4) \quad (10)$$

## 2.7 Simulação computacional

A utilização de modelos físicos em escala reduzidas é um método muito bem testado e conhecido no meio científico, cuja sua vantagem é, principalmente, a reprodução fidedigna da geometria, materiais e efeitos acústicos (KUTTRUFF, 2000).

Com os avanços das técnicas computacionais, o uso desses métodos foi superado pela simulação digital. Essa prática sofreu grandes avanços nos últimos anos, principalmente por reduzir custos e o tempo necessário para as análises. Atualmente, é possível prever o comportamento de salas antes de construí-las, simular a acústica de construções antigas e, ainda, melhorar a acústica de salas já existentes (TÔRRES, 2008).

O uso de modelos computadorizados para predição tem se tornado unanimidade na área de projeto e manutenção como ferramenta de auxílio às decisões. Uma das grandes contribuições da simulação acústica, por meio de modelos virtuais está na sua capacidade de transformar um fenômeno físico sonoro em informações visuais. Esse recurso transforma a interface das análises e as torna acessível aos profissionais que até então não possuíam afinidades com os cálculos mais complexos. Desta forma, torna-se possível visualizar o

comportamento de uma edificação desde os seus primeiros traços, ainda na etapa de concepção.

Existem no mercado diversos *softwares* de análises termoacústicas em edificações. Os métodos computacionais mais comuns para simular a propagação de som em um ambiente são baseados em modelagem acústica geométrica, através dos métodos de origem da imagem, traçado de raio e rastreamento de feixe (UTAMI, 2012).

Os mais consagrados utilizam os métodos do traçado de raios acústicos (*ray tracing method*), técnica que baseia nos conceitos da ótica geométrica.

O Método do Traçado de Raios parte da ideia de que o som é irradiado pela fonte na forma de partículas, emitidas em diferentes direções e carregando uma certa quantidade de energia. Estas se propagam na velocidade do som e, quando encontram uma fronteira da sala (“parede”), são refletidas, mudam de direção e perdem energia, devido ao coeficiente de absorção da parede encontrada. Quando uma partícula encontra o receptor, definido por uma área ou volume, a quantidade de energia contida por ela e o tempo de chegada são registrados. O processo dura até que algum critério de parada seja satisfeito (GOMES; BERTOLI; DEDECCA, 2007, p. 13).

Na Figura 13, ilustra-se a ideia desse processo.

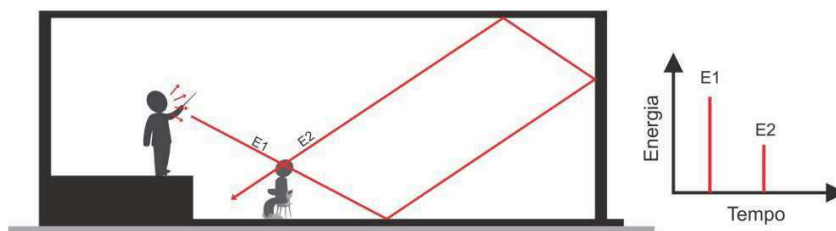


Figura 13 Ideia ilustrativa do método de traçado de raios. Os índices 1 e 2 referem-se ao primeiro e segundo encontro da partícula com o receptor  
Fonte: adaptado de Gomes, Bertoli e Dedecca (2007)

### 2.7.1 Aplicação do método de modelagem acústica geométrica

Com base nesse método, Quartieri et al. (2009), propuseram uma análise do tempo de reverberação pelo método experimental em uma igreja recém-construída. As análises demonstraram que o TR estava acima dos valores sugeridos. Os autores então propuseram uma ação corretiva, utilizando um modelo tridimensional no *software* ECOTECT da Autodesk®. Esse método permitiu identificar as superfícies que participavam de forma ativa na reverberação excessiva. Assim, foram feitas alterações (no âmbito virtual) e identificou-se uma melhora substancial, conforme se observa na Figura 14.

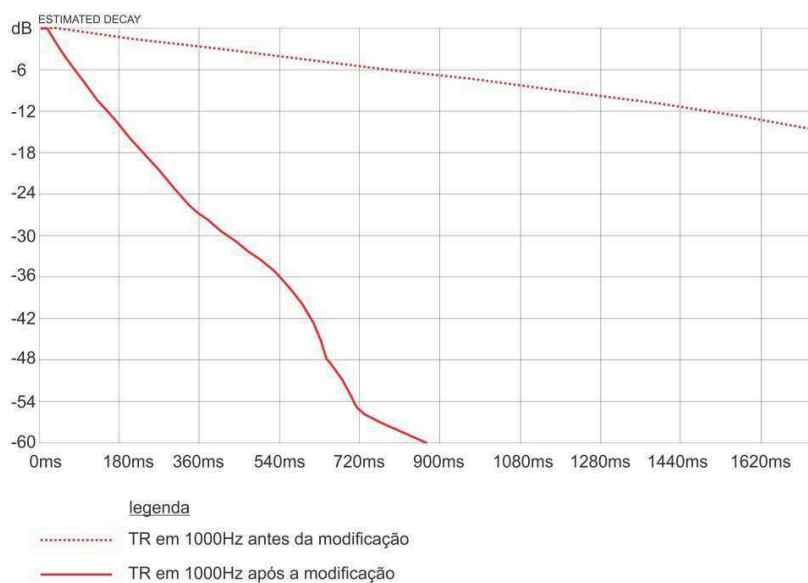


Figura 14 Análise do TR da igreja por bandas de oitava: (A) condição existente (B) Após a proposta de alteração  
Fonte: Quartieri et al. (2009)

Pela análise da geometria acústica (Figura 15), também foi possível identificar que, em razão do formato curvo da parede localizada atrás do altar, os

sinais sonoros eram refletidos, formando um foco diretamente na posição onde fica o microfone, no altar.

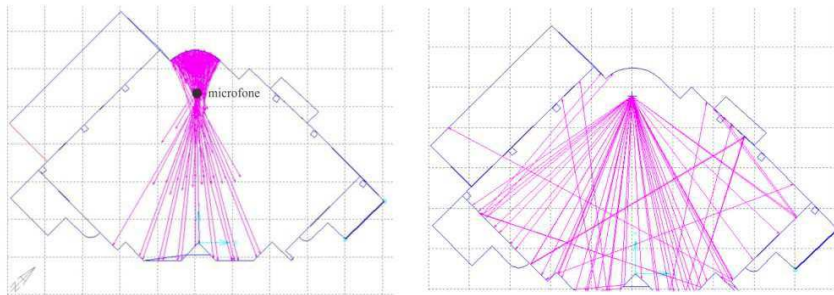


Figura 15 Reflexões sobre a superfícies curva atrás do altar e superfícies frontais ao altar

Fonte: Quartieri et al. (2009)

Clímaco e Tavares (2007) analisaram a acústica de quatro igrejas em Brasília, através do ECOTECT da Autodesk® e concluíram que três das quatro igrejas avaliadas possuem geometrias desfavoráveis, excesso de paralelismo e volumes além do recomendado. Os autores também utilizaram a análise de tempo de reverberação estatística do *software* para calcular os TR, segundo as fórmulas de Sabine, Norris-Eyring e Millington-Sette (Figura 16). Por meio dos estudos, foi possível concluir que todos os TR estavam acima do  $T_{or}$  previsto em norma.



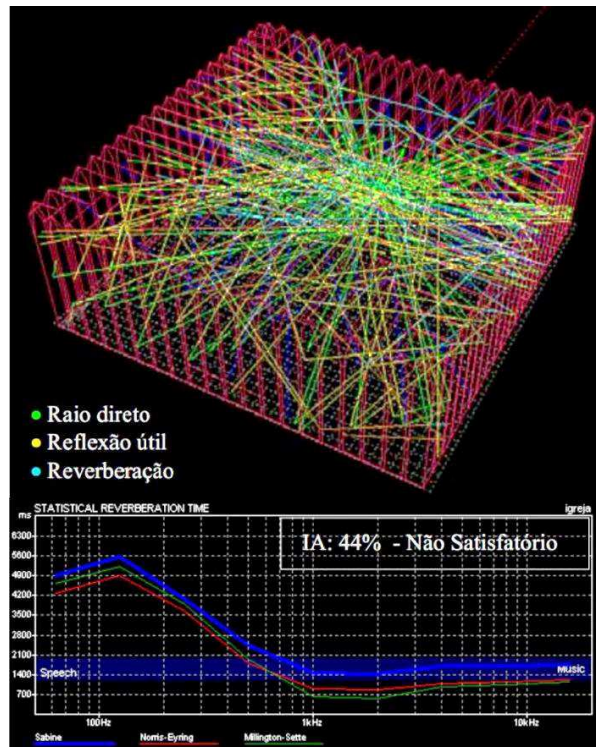


Figura 16 Análise de tempo de Reverberação - Santuário Dom Bosco, Brasília-DF  
 Fonte: Clímaco e Tavares (2007)

Em uma pesquisa desenvolvida na *Yost Ice Hockey Arena*, em Michigan nos EUA, Utami (2012) identificou a existência de complicadores que demandaram algumas avaliações específicas. A principal questão trata-se de um paradoxo. O sistema de som situado no quadro de pontuação (*scoreboard*), sobre o centro da pista de gelo, tem como função principal manter a animação do espectador, porém para que o sistema de som atinja seu melhor desempenho, é fundamental que exista controle da emissão de ruído originado da plateia. As primeiras simulações demonstraram que em baixas frequências o TR chegava a 4,6 segundos. Após análise, por meio do método do traçado de raios no Ecotect,

foi possível identificar as reflexões mais críticas. Na Figura 17, é possível ver na cor ciano os efeitos de reverberação gerados pela plateia.

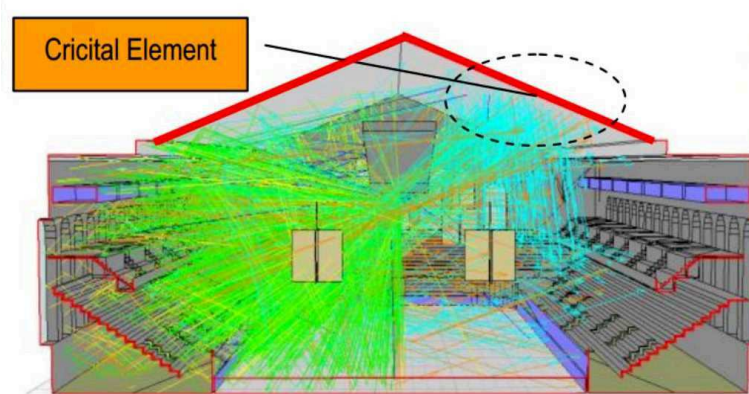


Figura 17 Análise das reflexões acústicas no Ecotect do *Yost Ice Arena*  
Fonte: Utami (2012)

Baseado nas informações obtidas no *software*, foi possível propor alterações para conter as reflexões excessivas. O autor propõe três intervenções: inclusão de duas medidas de painéis absorvedores suspensos (pequeno e grande) sobre a pista de gelo e a inclusão de painéis absorvedores sobre os espectadores, atuando sobre as fortes reverberações identificadas na análise de raios traçados (Figura 18).

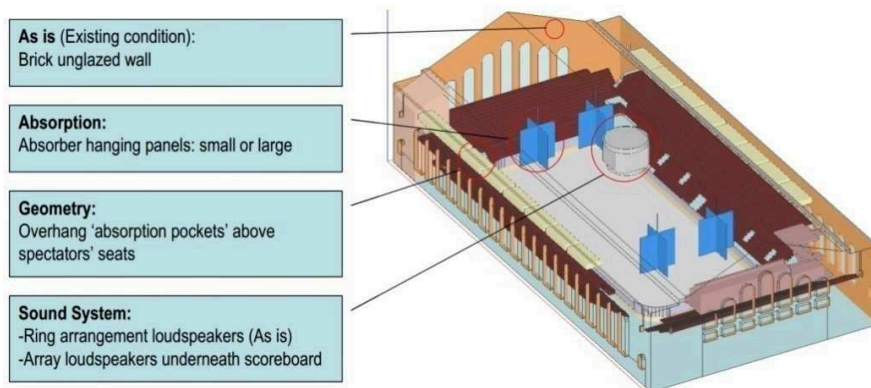


Figura 18 Propostas de alteração para diminuição do TR  
Fonte: Utami (2012)

As três propostas foram efetuadas diretamente no modelo virtual alternando suas combinações. Os resultados foram obtidos conforme Figura 19.

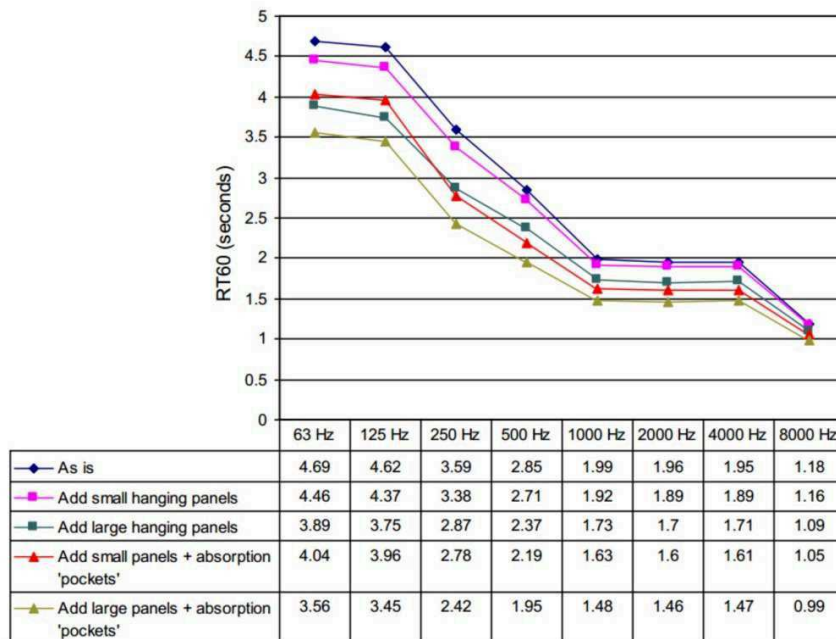


Figura 19 TR existente e TR obtido em simulação  
Fonte: Utami (2012)

## 2.8 Análise do ambiente construído

As primeiras pesquisas que relacionavam ambiente e comportamento, surgiram por volta de 1950 nos EUA e, posteriormente, difundiram pelos demais países desenvolvidos. No Brasil, os primeiros trabalhos a utilizar técnicas de avaliação pós-ocupação (APO) surgiram a partir da década de 1970, e a partir da década de 1990 foram desenvolvidos os primeiros estudos com o foco mais direcionado na análise do conforto ambiental e da eficiência energética dos edifícios.

Atualmente, a contratação de uma APO vinculada à obra de reforma tem se tornado cada vez mais comum nos EUA, principalmente em casos de licitações e concursos, especialmente de edifícios de alta complexidade (DEL RIO; RHEINGANTZ; ORNSTEIN, 1998; RHEINGANTZ; AZEVEDO, 2004). No Brasil, essa prática ainda se restringe ao meio acadêmico, realizada por pesquisadores universitários em trabalhos acadêmicos sistematizados (RHEINGANTZ; AZEVEDO, 2004).

Essa prática, ainda que restrita ao meio acadêmico, tem se concretizado como procedimento fundamental para o entendimento do comportamento das edificações. Segundo Roméro e Ornstein (2003), é objetivo da APO o diagnóstico originado de fatores técnicos, funcionais, econômicos, estéticos e comportamentais do ambiente em uso, a partir da opinião tanto dos técnicos, projetista e clientes, como também dos usuários. A APO distingue-se das avaliações de desempenho convencionais, realizadas nos laboratórios dos institutos de pesquisa, pois considera primordial aferir o atendimento das necessidades, pelo nível de satisfação do seu usuário.

Desse modo, Machado (2012) ressalta a importância de se verificar se a arquitetura atende às expectativas dos usuários, atuando não somente de forma eficiente, mas eficaz. Enquanto o primeiro refere-se à relação dos resultados obtidos frente aos recursos despendidos, o segundo refere-se ao cumprimento dos objetivos propostos. Além destes, o autor cita o conceito de efetividade, como sendo os impactos positivos gerados pelo espaço, mesmo esse não tendo atingido seus objetivos.

Nessa conjuntura, a universidade, como organização “prestadora de serviços educacionais” pode alcançar sua efetividade, garantindo-se a satisfação de todos os que por ela são afetados (alunos, professores, administração e comunidade). Só será possível atingir sua eficácia, se o objetivo maior, o ensino-aprendizagem, for atingido.

Para uma análise criteriosa da sua eficácia, Salvador (2011) cita que a APO pode ser trabalhada em diversas escalas, de forma ampla ou pontual. É possível obter diagnósticos ou recomendações de uma área específica, como relações comportamentais, conforto ambiental, arranjo espacial, etc. ou em um âmbito mais amplo, podem se configurar em recomendações físicas e de estruturas organizacionais de uma instituição ou entidade. Em qualquer um dos casos, Bechtel et al. (1987 apud SALVADOR, 2011) afirmaram que a APO também pode se transformar em instrumento de planejamento estratégico e de melhoria de produtividade.

Segundo o arquiteto e pesquisador Del Rio (2002 apud MACHADO, 2012), a compreensão das inter-relações com o ambiente depende do estudo da percepção e do processo cognitivo. Esta, por sua vez, é um processo mental que se dá, por meio dos mecanismos perceptivos.

Ao se estudar as inter-relações entre ser humano e ambiente construído, torna-se fundamental investigar os impactos do ambiente sobre as ações do indivíduo e deste sobre o ambiente (DE YOUNG, 1999; KOPEC, 2006).

No que diz respeito aos aspectos ambientais, segundo Ornstein, Bruna e Roméro (1995, p. 72), “nota-se com muita clareza o ambiente interagindo e modificando o comportamento e o comportamento, em resposta, alterando o ambiente”. A autora cita que essas relações podem ser divididas em quatro grupos:

a) ambiente construído: abrange as relações biunívocas entre comportamento e o projeto, construção, uso e operação,

b) condições de conforto: abrange as relações biunívocas entre o conforto ambiental e a resposta do comportamento a estas condições,

c) tipo de trabalho: abrange as relações biunívocas entre o comportamento e o tipo de trabalho,

d) relações pessoais: abrange as relações biunívocas entre o ambiente construído e as relações pessoais.

Contudo, deve-se ressaltar que essas trocas não se resumem a uma relação determinística, de simples causa e efeito. Segundo Machado (2012), os comportamentos dos indivíduos não são exclusivamente definidos por atributos ambientais, mas, também, por fatores como contexto social, cultural e econômico.

A trajetória histórica desenvolvida por cada indivíduo configura uma experiência vivenciada e dá significado individual às suas relações com o próprio ambiente. Nesse sentido, se tem uma complementação da APO, por do acréscimo consciente da subjetividade, da emoção e vivência do observador, caracterizando uma abordagem experiencial.

Segundo Rheingantz et al. (2009), a abordagem experiencial é uma prática de avaliação da qualidade do lugar que deve se dar, a partir da convergência da qualificação dos olhares técnico e cognitivo-experiencial, com o principal objetivo de enriquecer o entendimento de como os observadores e usuários percebem e vivenciam as particularidades do ambiente, reconhecendo-os como indivíduo sócio-histórico importante para a construção do lugar. Baseia-se na abordagem atuacionista proposta por Varela, Thompson e Rosch (2003), no pressuposto de que não é possível ter acesso a uma realidade independente do observador, uma vez que ela não é algo pré-determinado, estático e imutável, mas o resultado de uma explicação dependente do observador. Assim, têm-se a busca da superação do distanciamento da tradição behaviorista nas relações pessoa-ambiente.

A partir dessa linha de pensamento, o ProLUGAR – Grupo Qualidade do lugar e Paisagem da FAU/UFRJ (RHEINGANTZ et al., 2009) propõe o termo “observação incorporada”, fundamentado nos conceitos dos pensadores que contrariam a ideia de que a ciência, em sua busca por objetivar a realidade, separa os seres humanos do mundo em que vivem. Em outras palavras, ao realizar a análise de um ambiente, segundo os autores, não é possível ter acesso

a uma realidade independente de si próprio, dissociando informações científicas das impressões pessoais. Dessa forma, acredita-se que ao observar um ambiente, um pesquisador também tem sua experiência vivenciada e não somente relatada, transformando-se em protagonista da própria experiência vivenciada da observação (RHEINGANTZ et al., 2009).

Segundo Roméro e Ornstein (2003), faz parte do escopo da APO identificar os aspectos positivos e negativos de uma edificação, através de avaliações multimétodos. Quanto aos seus aspectos negativos identificados na APO, é necessário elaborar recomendações que visem, primeiramente, a minimizar ou corrigir as patologias identificadas no ambiente submetido à análise. O processo não finaliza com essas medidas. Os resultados obtidos nas avaliações dos estudos de caso, sejam positivos ou negativos, realimentam o ciclo do processo de produção e uso de ambientes semelhantes, de forma a aperfeiçoar o desenvolvimento de projetos futuros (Figura 20).

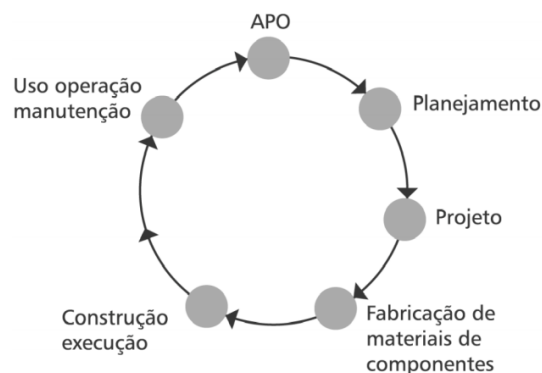


Figura 20 Processo evolutivo da APO  
Fonte: Roméro e Ornstein (2003)

Esse procedimento visa minimizar as ações intuitivas já que, segundo Lang (1987), essa é uma parte importante do processo projetual.

Segundo Suh (1998), as metodologias utilizadas para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos, geralmente, consistem em análise e síntese, em

tentativas e erros. Raramente proporcionam uma visão geral clara de seus objetivos e, muitas vezes, não permitem, ou não se preocupam com o armazenamento das informações referentes às decisões efetuadas. Assim sendo, o projeto passa a ser considerado e tratado de forma empírica, não sendo constatado o desenvolvimento de uma metodologia genérica que possibilite o compartilhamento do processo, das informações e das avaliações.

Com o passar do tempo, o edifício pode ter suas funções originais modificadas, e as necessidades dos seus usuários também podem mudar. Voordt e Wegen (2005) afirmaram que a qualidade do projeto do edifício se reflete na manutenção da satisfação das necessidades dos usuários ao longo do tempo. Dessa forma, as informações obtidas por meio da APO podem contribuir para o direcionamento de programas de manutenção ou de conscientização dos usuários, além de ser útil para realimentar o processo de projeto, com a elaboração de diretrizes projetuais, normas, etc., levando em consideração a especificidade do usuário e da tipologia do ambiente construído (ROMÉRO; ORNSTEIN, 2003).

### **2.8.1 Instrumentos de avaliação**

Ao se empregar uma APO como método de análise do desempenho do ambiente construído, está intrínseco o conceito da aplicação de instrumentos de avaliação. Identificá-los e caracterizá-los faz parte do procedimento que subsidiará a escolha dos métodos mais adequados para atingir as metas propostas para o trabalho.

Originalmente criado por Kevin Lynch, em 1960, e procedente da Psicologia Ambiental, o *Walkthrough* pode ser definido como um percurso dialogado, complementado por fotografias, croquis gerais e gravações. Em seu processo, os aspectos físicos servem para articular as reações dos participantes



em relação aos ambientes. Combina simultaneamente uma observação com uma entrevista e possibilita a familiarização com os ambientes e a identificação de seus aspectos positivos e negativos. Em geral, é um instrumento que precede a todos os estudos e levantamentos, pois permite identificar e hierarquizar quais os aspectos merecem estudos mais aprofundados e quais as técnicas devem ser utilizadas (RHEINGANTZ et al., 2009).

O Questionário é um instrumento de pesquisa estruturado por uma série ordenada de perguntas relacionadas a determinadas hipóteses, as quais se pretende investigar. É um instrumento de grande utilidade estatística, pois permite que sejam identificados padrões entre grupos de pessoas. É facilmente aplicável a um universo maior, uma vez que não é imprescindível contato direto com os respondentes e não necessita de identificação. Sanoff (1992) observa que tanto a presença como a ausência de determinadas perguntas podem influenciar no resultado final. A forma com que são elaborados os questionários é um importante passo para que as questões levantadas sejam imparciais. Por sua vez, em determinadas situações em que o ambiente induz as pessoas a um “entorpecimento ambiental”<sup>10</sup>, que as impedem de reconhecer que os ambientes podem ser melhorados, esse tipo de instrumento pode ter grande validade ao fazê-las despertar para o problema (GIFFORD, 1997).

A grande validade de aplicações multimétodos está no cruzamento das descobertas, possibilitando validar uma determinada hipótese ou criar argumentos para novas investigações.

---

<sup>10</sup> Do original “*environmental numbness*” (GIFFORD, 1997 apud RHEINGANTZ et al., 2009)

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) é uma universidade que abrange uma área de 507 hectares, estruturada, basicamente, em três vias arteriais e dezenove departamentos com, aproximadamente, 220 mil metros quadrados distribuídos em uma área urbanizada de 117 hectares.

Este trabalho foi conduzido em sete pavilhões de sala de aula da universidade. O método adotado para identificação dos espaços avaliados se deram de forma gradual, atuando em um primeiro momento com procedimentos mais abrangentes e de caráter investigativo, passando a processos mais específicos de análises detalhadas. Dessa forma, esta pesquisa foi dividida em duas etapas: na primeira, foi realizado um diagnóstico de caráter experiencial, qualitativo e subjetivo, com o objetivo de identificar os pontos críticos das edificações, conforme a visão de seus usuários. Já, na segunda, foi realizada uma análise técnica, quantitativa e objetiva, de forma que seja possível validar ou não as questões levantadas na primeira etapa e identificar as possíveis causas.

#### **3.1 Análise experiencial**

Esta é uma análise considerada subjetiva, pois tem foco na percepção individual sobre o ambiente construído. Não se trata de uma verdade absoluta, já que são percepções inerentes ao aspecto fisiológico de cada indivíduo, mas pode se transformar em informações estatísticas extremamente importantes para validar ou não as avaliações técnicas.

A escolha dos instrumentos de análise (comportamental) foi definida mediante a especificidade do tema. Este trabalho se restringe às análises no campo da condição do conforto acústico e suas relações biunívocas com as respostas do comportamento a essas condições, conforme citado por Ornstein,

Bruna e Roméro (1995). Entre os diversos instrumentos de avaliação existentes, foram escolhidos três, os quais fazem parte de oito consagrados métodos. São eles: o *Walkthrough*, o Questionário e a Matriz de Descobertas.

### **3.1.1 Visita exploratória e análise *Walkthrough***

Com o intuito de se obter uma compreensão ampla e abrangente de todos os aspectos da instituição e identificar os ambientes objetos desta análise, foi adotado como procedimento preliminar, de caráter investigativo e exploratório, o método *walkthrough*.

Nesta primeira etapa, com a finalidade de conhecer o funcionamento das salas de aula e a sua dinâmica de utilização, foram estabelecidos contatos com a Diretoria de Apoio e Desenvolvimento Pedagógico (DADP), órgão vinculado à Pró-Reitoria de Graduação, que tem como principal função assessoramento ao planejamento das atividades de ensino-aprendizagem e gerenciamento das salas de aula e equipamentos. Por meio de uma visita acompanhada por dois membros desta diretoria, e uma entrevista semiestruturada (APÊNDICE A - Entrevista semiestruturada (*Walkthrough*)), foram abordadas todas as características acústicas das salas de aula e seu entorno, objetivando identificar os pontos críticos que podem ter influências no processo de ensino-aprendizagem. Esse método subsidiou a escolha dos métodos da análise técnica e os espaços objeto desta pesquisa.

Por meio desse primeiro contato foi possível entender toda a estrutura de funcionamento e seu *modus operandi*. Os funcionários relataram que a distribuição dos locais de aula é administrada pela Diretoria de Registro e Controle Acadêmico (DRCA), em função do número de alunos e dimensão das salas. Os professores não têm influência na escolha das salas de aula e estão

submetidos aos critérios da DRCA, que efetua a triagem distribuindo-os em sete pavilhões de aula espalhados pelo campus.

O percurso *walkthrough* (Figura 21) foi iniciado no Pavilhão 6, local onde se situam as instalações do DADP e foi definido pelos funcionários, que, de forma intuitiva, direcionaram a visita às salas que possuem problemas de conforto térmico e, por consequência, possuem ventiladores. As primeiras salas visitadas encontram-se no pavimento superior, voltadas para a obra de um novo bloco de laboratórios do Departamento de Fitopatologia. Os funcionários relataram que essas salas não possuem laje de cobertura, apenas um forro de PVC. As altas temperaturas radiadas pela telha de fibrocimento fazem com que o forro de PVC seja insuficiente para bloqueá-las. Dessa forma, torna-se fundamental manter os ventiladores ligados durante os períodos mais quentes. Esse tipo de problema está mais evidente nas salas orientadas para o oeste.

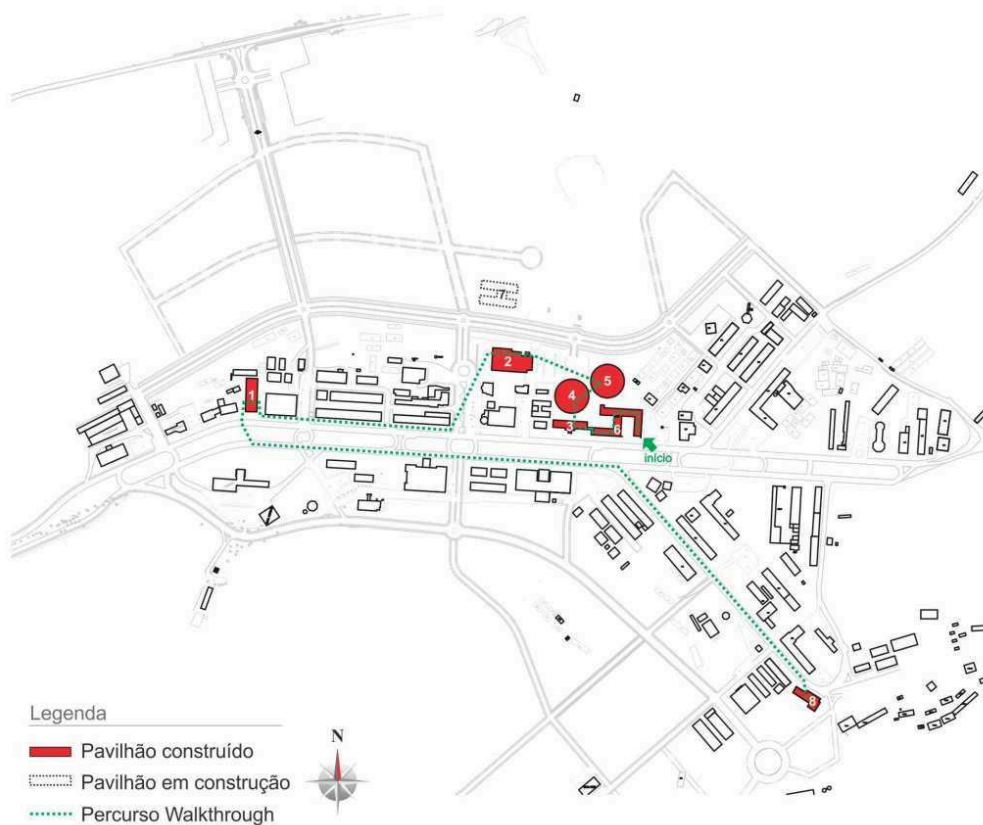


Figura 21 Mapa geral UFLA

A visita prosseguiu para o pavilhão 3, através de uma passarela que conecta as edificações. Os principais aspectos levantados nessa edificação foram os ruídos originados da sua proximidade com a avenida frontal, além dos ventiladores nas salas mais quentes. Os dois funcionários responsáveis, também relataram sobre os problemas gerados pela aglomeração de alunos na frente das salas, principalmente no pavimento térreo.

Na sequência do trajeto, os pavilhões 4 e 5 foram as duas tipologias que apresentaram os maiores problemas de conforto térmico e acústico. Segundo um funcionário da DADP, os problemas desses dois pavilhões são crônicos. As

salas, que chegam a receber até 130 alunos, têm pouca ventilação natural. A estrutura não apresenta laje, apenas forro e telha termoacústica e a temperatura, em períodos quentes, é intensa. Foram instalados ventiladores nas salas, porém devem trabalhar em alta velocidade e seu ruído dificulta a comunicação. Na tentativa de resolver essa questão, foram instalados microfones, contudo, segundo os funcionários, os professores não se adaptaram e dizem não gostar, permanecendo o problema termoacústico. No mês de julho de 2014, foram instalados dois grandes resfriadores evaporativos em uma das salas do Pavilhão 4. Segundo o fabricante<sup>11</sup> desse equipamento, este é um sistema que promove o resfriamento do ambiente, por meio do aumento da umidade do ar, podendo reduzir a temperatura em até onze graus centígrados, dependendo da umidade relativa do ar. O sistema ainda não foi testado e ainda não se tem informações sobre sua eficiência e o quanto ele gera de ruído ao ambiente.

Dando continuidade ao percurso, foi apresentado o pavilhão 2, um espaço de aulas localizado no pavimento inferior ao Restaurante Universitário. O primeiro aspecto levantado foi sobre a incompatibilidade de função dos dois pavimentos. Os ruídos emitidos pelo exaustor da cozinha, a movimentação no pavimento superior e a aglomeração de alunos próximos às salas trazem prejuízo às aulas. Além disso, as salas são quentes, sem ventilação e muito compridas. As salas possuem apenas duas janelas localizadas ao fundo que precisam ficar abertas o tempo todo, em decorrência da falta de ventilação. Os ventiladores ligados dificultam ainda mais a compreensão, segundo relatos.

No Pavilhão 1, ficou claro nos relatos dos funcionários que, embora seja uma construção antiga, a laje e os beirais sobre a circulação externa protegem as salas, que são deficientes apenas no aspecto de ventilação cruzada, não sendo identificado nenhum problema crônico, no que diz respeito à acústica dos espaços.

---

<sup>11</sup> Informações retiradas do folder de divulgação do fabricante Ecobrisa

Todas as questões relatadas sobre o Pavilhão 8 foram relativas ao mau cheiro e à poeira proveniente da sua proximidade com os estábulos e ruas ainda não pavimentadas. Não existem reclamações dos seus aspectos acústicos.

Após essa análise, observou-se que todas as reclamações apontadas estão relacionadas aos ruídos, seja por fontes internas ou externas as edificações, exceto aquelas relacionadas ao Pavilhão 8. Aquelas que apresentam ruídos internos estão, em sua totalidade, diretamente relacionadas à utilização de ventiladores, em razão de problemas de conforto térmico. Essas questões ficaram evidenciadas nas salas sem laje, sem ventilação cruzadas e que possuem paredes orientadas para oeste, sem nenhuma proteção.

Os problemas de ruídos de origens externas apontados têm suas possíveis causas relacionadas à proximidade das salas às fontes de ruídos, seja por aglomeração de alunos, ruídos de equipamentos, obras ou vias arteriais. Tais problemas foram detectados nos pavilhões 2, 3 e 6.

Ainda sobre os problemas acústicos, nada se falou ou deixou a entender sobre o comprometimento da inteligibilidade por altas reverberações, situação que induz a alguns questionamentos, visto que, em uma primeira análise, ainda de caráter superficial, percebe-se que o número de superfícies com baixa absorção é relevante, evidenciando a falta de tratamento das superfícies para um  $TR_{60}$  adequado.

Diante dessas questões, adotaram-se alguns critérios que subsidiaram a escolha das salas de aula com potencial crítico, do ponto de vista acústico e que farão parte das análises. Este método é uma adaptação do quadro de diagnóstico proposto por França, Ornstein e Ono (2011) e tem como objetivo identificar os espaços com o maior número de ocorrências de fatores negativos. Eles foram divididos em: proximidade às fontes de ruídos externos, presença de fontes de ruídos internos, deficiência no condicionamento acústico e deficiência de conforto térmico. Este último, embora não esteja diretamente relacionado às

questões acústicas, entende-se que pode contribuir de forma significativa em períodos quentes, onde existe a necessidade de se manter as janelas abertas e ventiladores ligados, influenciando, de forma expressiva na relação Sinal/Ruído e, conseqüentemente, no processo de ensino-aprendizagem, por meio do estresse térmico e psicoacústico.

O diagnóstico (Tabela 6) considerou as 59 salas de aulas existentes, distribuídas em sete pavilhões de aula. Cada item foi pontuado, conforme seu nível de relevância para a sala avaliada, considerando zero para aspectos irrelevantes e três para aspectos muito relevantes, conforme Tabela 6.

O resultado do somatório dos pontos apontou onze salas de aula com um número elevado de incidência de patologias termoacústicas, divididas em 4 pavilhões: PV2-01, PV2-02, PV2-03, PV2-04, PV3-02, PV4-01, PV4-02, PV4-03, PV5-01, PV5-02 e PV5-03. Quatro delas fazem parte do pavilhão 2 e apresentam características quase idênticas, com diferenças apenas na sua geometria. Optou-se por selecionar PV2-04 (Figura 22) por apresentar um metro a menos de largura e setenta centímetros a mais no comprimento, caracterizando uma maior desproporcionalidade. No pavilhão 3, apenas a sala PV3-02 foi identificada para avaliação, embora possua características idênticas à PV3-06 (Figura 23), diferenciada apenas por ser uma sala térrea com proximidade a circulação intensa de alunos. As salas dos pavilhões 4 e 5 também apresentam características parecidas. A diferença está na PV4-03 (Figura 24) que apresenta um climatizador instalado. Dessa forma, optou-se por analisar esse ambiente, tendo em vista a necessidade de se avaliar os impactos desse aparelho no resultado das aulas.





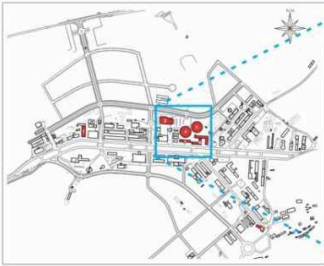
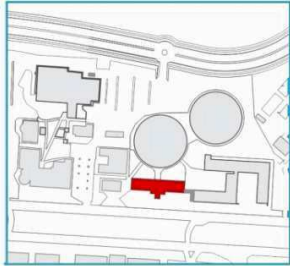
Mapeamento Fotográfico Análise Walkthrough - PAVILHÃO 2



Figura 22 Mapeamento fotográfico e análise Walkthrough – Pavilhão 2

Mapeamento Fotográfico Análise *Walkthrough* - PAVILHÃO 3

Mapa Chave

**QUADRO DE DIAGNÓSTICO**

**RE Ruído Externos**

- 1 Proximidade a áreas de aglomeração de alunos
- 2 Proximidade as vias arteriais
- 3 Proximidade de equipamento ruidoso
- 4 Proximidade de obra

**CT Conforto Térmico**

- 1 Salas sem Laje
- 2 Salas com paredes orientadas para o oeste e sem proteção
- 3 Sala sem ventilação cruzada ou janelas aparentemente insuficientes
- 4 Salas com equipamentos de sonorização instalados

**RI Ruído interno**

- 1 Utilização de Ventilador
- 2 Utilização de Climatizador

**CA Condicionamento Acústico**

- 1 Salas com proporções geométricas duvidosas
- 2 Salas com predominância de superfícies de baixo índice de absorção
- 3 Sala com interferência de vigas



**CIRCULAÇÃO PAVILHÃO 3**

**RE** proximidade a área de aglomeração de aluno e vias arteriais,

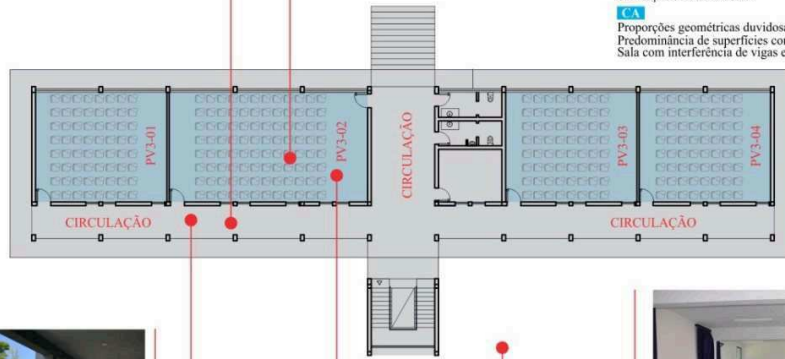


**PV3-02**

**RE** proximidade a área de aglomeração de aluno e vias arteriais

**RI** Utilização de ventiladores

**CA** Proporções geométricas duvidosas  
Predominância de superfícies com baixo índice de absorção  
Sala com interferência de vigas e pilares



**CIRCULAÇÃO PAVILHÃO 3**

**RE** proximidade a área de aglomeração de aluno, circulação e vias arteriais



**PV3-02**

**RE** proximidade a área de aglomeração de aluno e vias arteriais

**RI** Utilização de ventiladores

**CA** Proporções geométricas duvidosas  
Predominância de superfícies com baixo índice de absorção  
Sala com interferência de vigas e pilares



**CIRCULAÇÃO PAVILHÃO 3**

**RE** proximidade a área de aglomeração de aluno, circulação e vias arteriais



**PAVILHÃO 3**

**RE** proximidade a área de aglomeração de aluno, circulação e vias arteriais

Legenda

- Salas de Aula Expositiva
- Área de circulação e uso comum



Figura 23 Mapeamento fotográfico e análise *Walkthrough* – Pavilhão 3

Mapeamento Fotográfico Análise Walkthrough - PAVILHÃO 4

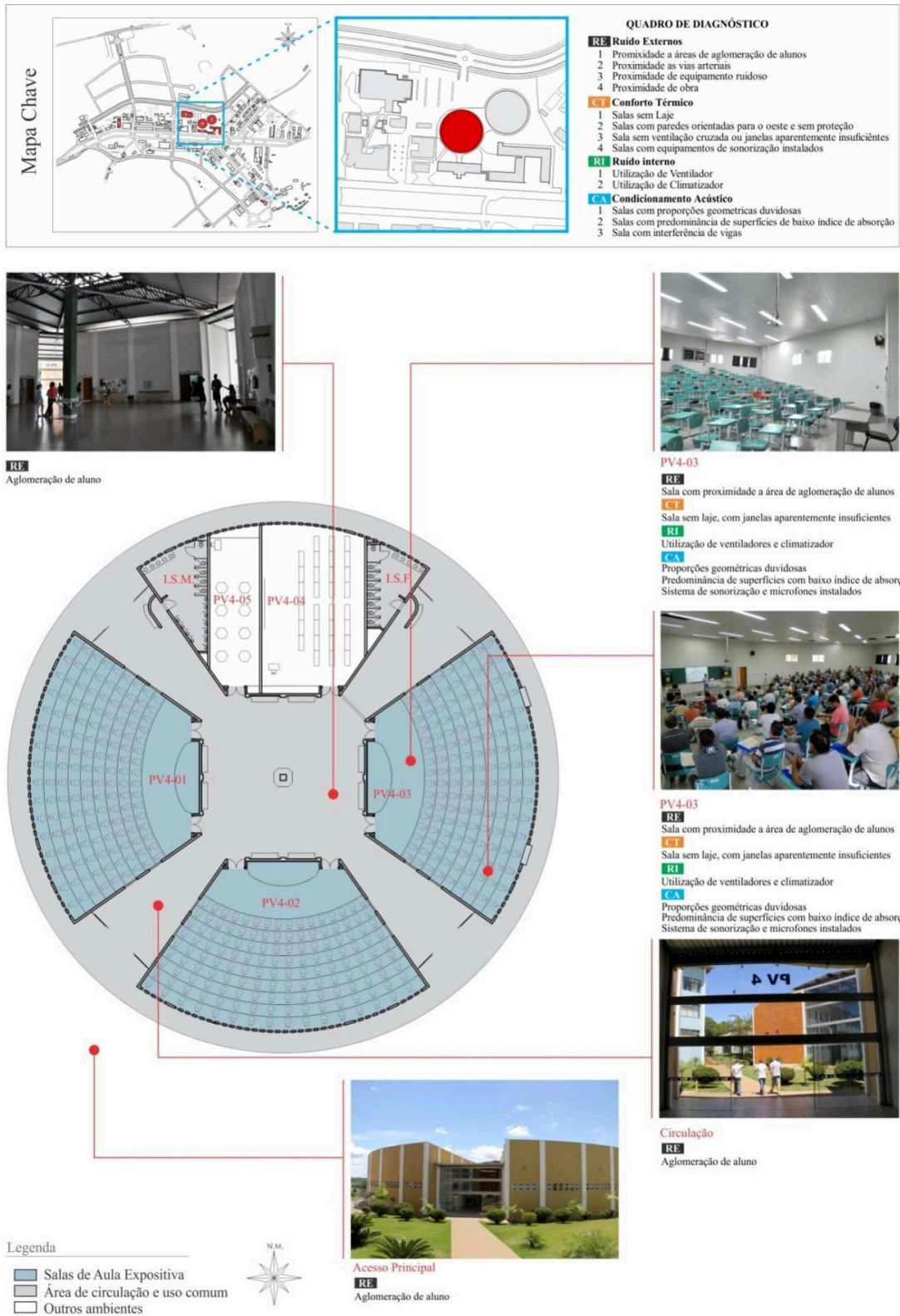


Figura 24 Mapeamento fotográfico e análise Walkthrough – Pavilhão 4

### 3.1.2 Questionário

Recorrendo a uma segunda análise qualitativa e de caráter subjetivo, foram aplicados dois questionários aos usuários das salas de aula identificadas pelo processo *walkthrough*, o primeiro direcionado aos ouvintes, nesse caso os alunos, e o segundo direcionado ao palestrante, nesse caso o professor. As perguntas formuladas foram desenvolvidas, a partir de outros trabalhos semelhantes conduzidos por Dockrell e Shield (2004), Enmarker e Boman (2004), Loro (2003), Losso (2003) e Zwirter (2006) e adaptados ao contexto desta pesquisa.

O questionário possui oito perguntas, das quais seis possuem escala de diferencial semântico, bipolar, compostas por adjetivos antônimos, divididas em seis pontos ordinais (-3; -2; -1; +1; +2; +3). Com o intuito de evitar respostas imparciais, não faz parte das opções o número 0. Os modelos estão demonstrados nos apêndices B e C.

Neste questionário, objetivou-se refletir sobre as hipóteses de pesquisa, confirmando quais as patologias acústicas estão presentes nas salas de aula, identificadas através da percepção vivenciada dos alunos e professores. Os dados coletados foram tratados com finalidade de análise estatística. Os resultados foram comparados à análise objetiva com intuito de validá-los ou não.

Para que haja coerência com o objeto avaliado, as pesquisas foram aplicadas somente nas salas em estudo, porém em período distinto das medições acústicas, a fim de minimizar as interferências na rotina de aula.

Com o intuito de coletar informações do maior número de pessoas, o questionário direcionado aos professores foi formulado em formato digital, por meio do *Google Form*<sup>®</sup>, e enviado somente aos profissionais que lecionam nas salas em questão. O questionário direcionado aos alunos foi aplicado presencialmente.

Com esse procedimento, foram coletadas informações de 228 alunos e 42 professores, divididos em três salas, conforme Tabela 7.

A formulação do questionário em escala bipolar, com números negativos e positivos, sem o zero, possibilita agrupar as respostas em dois grupos, os que possuem uma visão negativa e os que possuem uma visão positiva do assunto abordado. Isso porque, ao responder a questão, a primeira decisão de resposta do usuário está ligada à sua primeira impressão sobre o aspecto investigado, ou seja, boa (positiva) ou ruim (negativa). Ainda que a resposta seja +1, entende-se que o usuário possui uma interpretação que classifica o problema fora de uma zona de preocupação.

Tabela 7 Número de questionários aplicados

<b>Ambiente</b>	<b>Nº de Alunos</b>	<b>Nº de Professores</b>
PV2-04	74	16
PV3-02	60	10
PV4-03	94	16
Total	228	42

### 3.2 Análise técnica

Para efetuar as análises objetivas, formulou-se uma metodologia com base nas características do objeto em estudo e recomendações das normas para avaliações acústicas, conforme aplicados em trabalhos correlatos. O procedimento foi dividido em: caracterização do objeto, medições *in situ*, por meio de métodos experimentais e análises pelos métodos teóricos, com base em levantamento físico-constutivo.

As análises têm como objetivo quantificar e comparar às normas os seguintes parâmetros acústicos:

- Nível de Ruído de Fundo -  $L_{eq A (10min)}$  e  $NPS_{máximo}$
- Relação Sinal/Ruído (RSR)
- Tempo de Reverberação –  $TR_{60}$
- Geometria Acústica

Para auxiliar todo o processo foram feitas pesquisas no acervo da Prefeitura do Campus, para a seleção de todos os projetos, objetos desta pesquisa. Os projetos selecionados passaram por uma conferência do tipo “*as built*”<sup>12</sup>, e todas as informações relevantes para a análise foram registradas.

### 3.2.1 Caracterização Físico-construtiva

Nesta vistoria, objetivou-se caracterizar as condições ambientais e construtivas dos ambientes a serem avaliados, identificando possíveis elementos que participam de forma ativa na formação das condições acústicas da edificação, como proporção das salas (largura, comprimento e pé direito), revestimentos de piso, parede e forro, laje e dimensões das aberturas.

No caso da sala PV2-04, suas características foram determinantes para que se tornasse estudo de caso. Tem capacidade para 78 alunos e está situada no pavimento inferior do restaurante universitário, de frente para uma das principais avenidas do *campus*, protegida por uma área de pilotis por onde se distribui a circulação entre as salas e banheiros. Possui desproporcionalidade bastante evidente, ou seja, largura (5,85m) e altura (3,04m) aquém, se comparadas ao seu comprimento (15,12m). O ambiente sofre interferências relevantes de pilares e vigas do ponto de vista funcional, acústico e lumínico (Figura 25).

---

<sup>12</sup> As-built é uma expressão inglesa que significa “como construído”, isto é, a situação ou o estado como foi construído o projeto. Na arquitetura e na engenharia, “as built” refere-se a um levantamento das medidas existentes, transformando em desenhos técnicos todas as informações encontradas relacionadas.



Figura 25 Fotos da Sala PV2-04

A sala possui uma única janela localizada na parede do lado oposto da lousa, sem ventilação cruzada, caracterizando, sobre os aspectos térmicos, uma patologia crônica (Figura 26). Do ponto de vista acústico geométrico, é uma sala com todas as superfícies paralelas e com predominância de materiais de acabamento de baixa absorção (alta reflexão). Foi construída em concreto armado, paredes de alvenaria com reboco e pintura, piso em pintura epóxi, esquadrias de metalon pintado com vidro de 6mm e laje pré-moldada, rebocada e pintada.



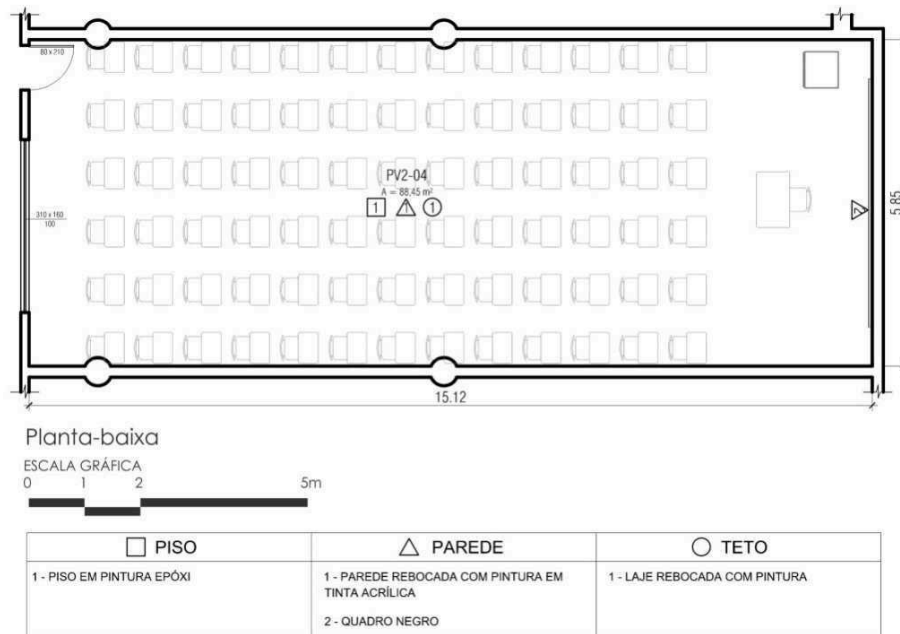


Figura 26 Planta e quadro de acabamentos da Sala PV2-04

A sala PV3-02 está situada no pavimento térreo do Pavilhão 3, localizada no ponto central da universidade, próxima à avenida Central e tem capacidade para 91 alunos. Possui a particularidade de confrontar aberturas para dois corredores que são utilizados como áreas de acesso a outros pavilhões. A sala possui janelas amplas, tendo algumas delas voltadas para uma dessas áreas de circulação. Têm dimensões de 13,60 metros de comprimento, 7,50 metros de largura e 3,28 metros de pé-direito. O ambiente sofre interferência de duas vigas de 46 centímetros expostas no sentido transversal da sala.



Figura 27 Fotos da sala PV3-02

Do ponto de vista acústico geométrico, é uma sala com predominância de superfícies paralelas e materiais de acabamento de baixa absorção (alta reflexão). Foi construída em concreto armado, paredes de alvenaria com reboco e pintura, piso cerâmico, esquadrias de metalon pintado com vidro de 6mm e laje pré-moldada, rebocada e pintada.

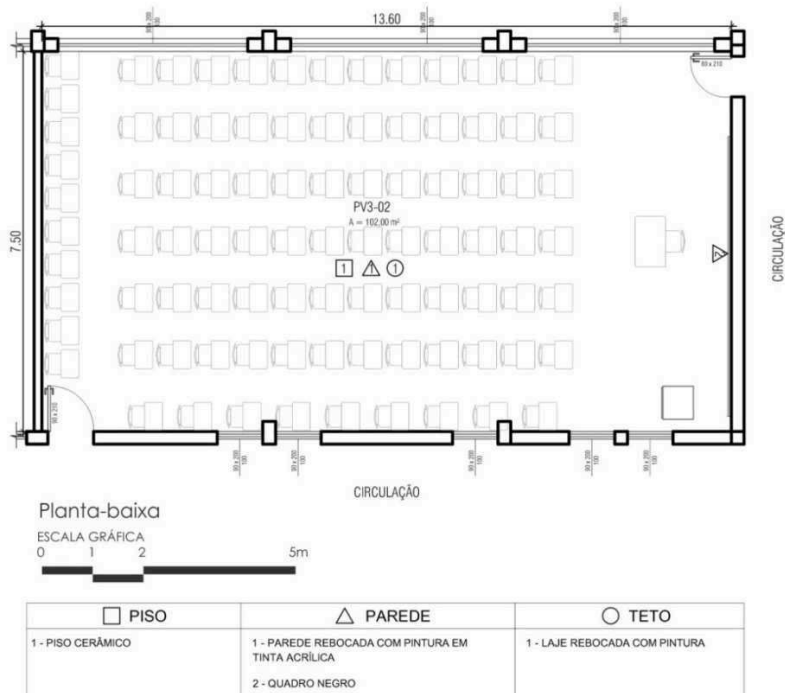


Figura 28 Planta e quadro de acabamentos da Sala PV3-02

A sala PV4-03 está localizada no Pavilhão 4, na área central do campus universitário e tem capacidade para 140 alunos. Sobre os aspectos físico-construtivos, possui algumas características muito particulares. É uma sala escalonada e tem pé-direito de 4,50 metros. Sua planta segue uma simetria rígida e tem formato de leque, delineando uma fração de círculo. A parede posterior é em arco e as janelas que fazem parte dessa empena são estreitas e, algumas delas, recentemente, foram fechadas para a instalação de dois climatizadores evaporativos<sup>13</sup>. A sala está configurada entre dois corredores que interligam o saguão central à área externa. Estruturada em concreto armado, alvenaria e cobertura termoacústica com forro constituído por lâ de vidro. As paredes são rebocadas e pintadas. O piso é cimentado, liso, com pintura epóxi e esquadrias de alumínio com vidro de 6mm (Figura 29).



Figura 29 Fotos da Sala PV4-03

---

<sup>13</sup> Equipamento que tem como característica reduzir a temperatura do ar, por meio da umidade, utilizando o processo de evaporação da água.

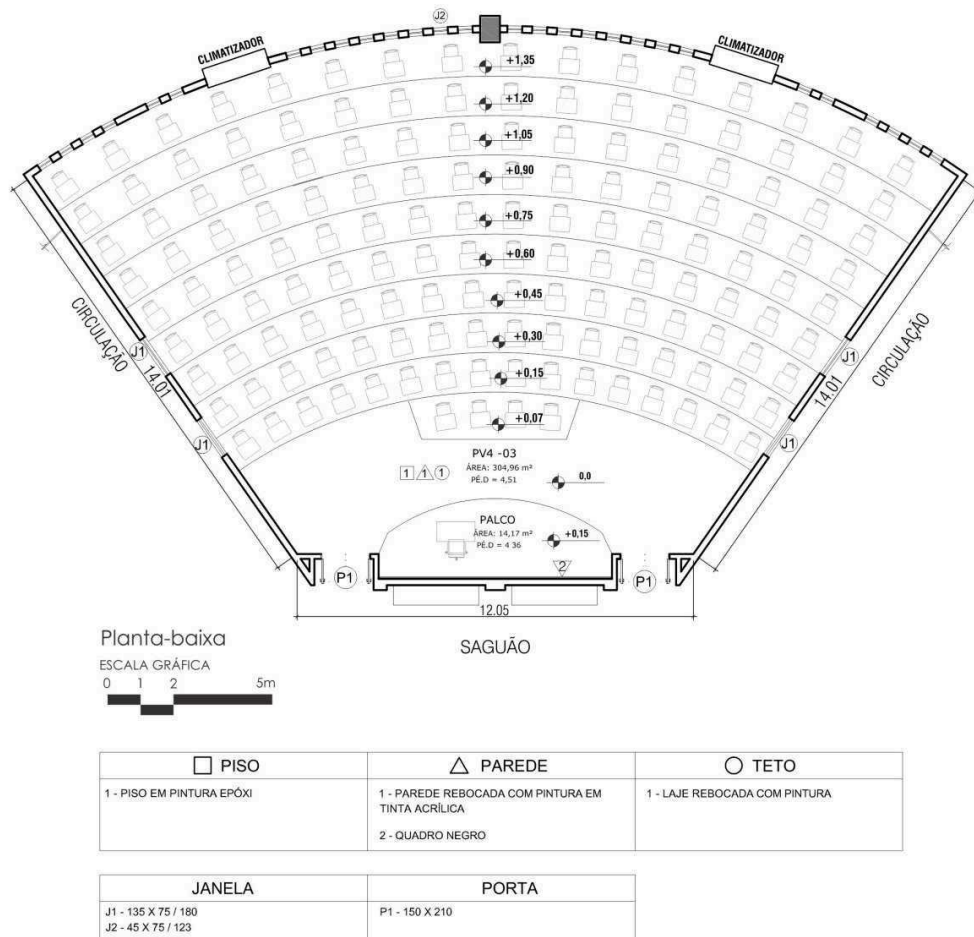


Figura 30 Planta e quadro de acabamentos da Sala PV4-03

### 3.2.2 Método experimental

Para a medição do Nível de Ruído de Fundo (NRF), Nível de Pressão Sonora (NPS) e Relação Sinal/Ruído (RSR), foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Decibélímetro digital da marca Instrutherm, modelo DEC-490, com data-logger, medições na faixa de 30 dB a 130 dB, resolução de 0,1dB e escala de frequência de 31,5Hz a 8KHz (Figura 31);



Figura 31 Medidor de Nível de pressão sonora Instrutherm, DEC-490

- Tripé para medidor.
- Calibrador acústico.

As condições para a realização da coleta de dados foram estabelecidas a partir das características de utilização das salas. Assim, como todas as salas de aulas não possuem ar condicionado, apenas uma delas possui um climatizador evaporativo e seu fabricante recomenda manter as janelas abertas, estabeleceu-se que as medições de NRF, NPS e RSR deveriam ocorrer, simulando as duas condições extremas de uso e seus reflexos no desempenho acústico.

#### Condição 1 (Períodos frios)

- Sala de aula desocupada
- Ventilador desligado e Climatizador desligado (quando houver)
- Janelas fechadas

#### Condição 2 (Períodos quentes)

- Sala de aula desocupada
- Ventilador ou Climatizador ligado (quando houver)
- Janelas abertas

Para análise do NRF, foram efetuadas três aferições em cada sala, conforme quantidade mínima exigida pela NBR 10151 (ABNT, 2000). Os pontos e suas posições foram determinados, respeitando um afastamento entre si de pelo menos 50 centímetros e a uma distância de, no mínimo, 1 metro de qualquer superfície, conforme determina a norma. O tempo de medição do NRF foi de dez minutos para cada ponto, extraindo-se também o  $NPS_{máx}$  obtido na opção *fast*. O tempo de aquisição desses sinais foi determinado em função da análise de estudos similares. O resultado obtido é a média aritmética dos três valores aferidos, e foram comparados aos sugeridos pela NBR 10152 (ABNT, 1987), que estabelece os níveis de ruídos aceitáveis, de acordo com o tipo de uso das edificações. Para salas de aula, a norma determina entre 40 a 50 dB(A). Níveis superiores são considerados de desconforto, sem, necessariamente, implicar em riscos de dano à saúde, porém com grande parcela de influência negativa no processo de ensino-aprendizagem.

A análise da relação Sinal/Ruído para cada sala de aula foi efetuada nas melhores condições térmicas possíveis, ou seja, com ventiladores ligados na potência que satisfizesse uma razão entre conforto acústico e térmico que o professor julgasse adequada, ou pelo menos próxima disso. Para a análise, foram efetuadas medições do RF da sala ocupada, com ventilador ligado e sem a contribuição da voz do professor e do NPS com a contribuição da voz do professor (P), que foi posicionado a um metro da lousa e no eixo central da sala. O medidor (M) do NPS foi instalado a um metro de distância do professor, conforme mostrado na Figura 32.

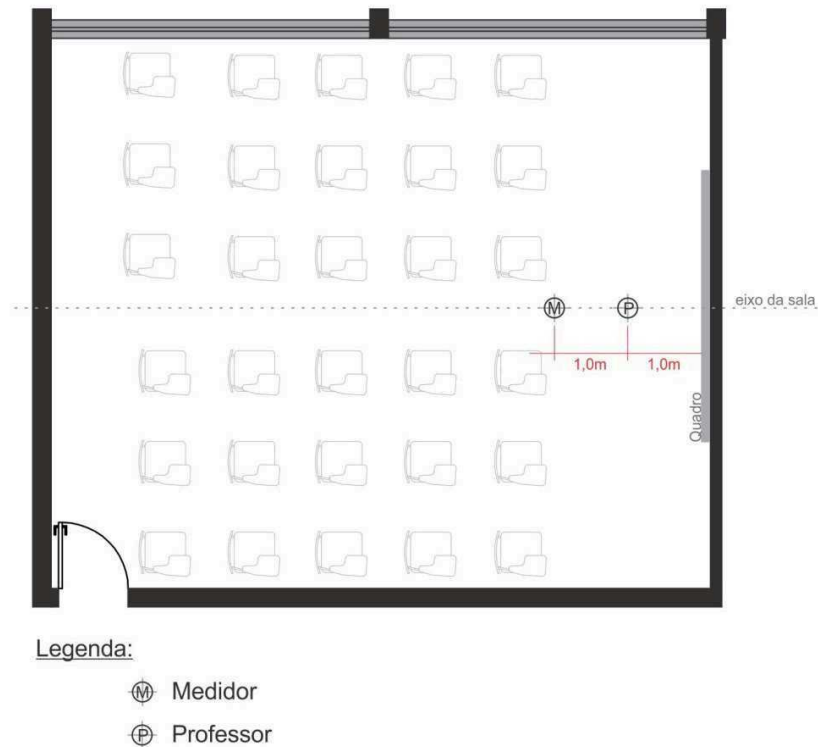


Figura 32 Planta baixa ilustrativa do ponto de medição da Relação S/R

Para a realização dos cálculos, foram utilizadas as equações (1 e (2). Os resultados obtidos foram comparados aos valores sugeridos pela ASHA (2005), que determina que, para que haja uma boa inteligibilidade, é necessária uma relação mínima de +15 dB.

### 3.2.3 Método teórico

O desempenho do condicionamento acústico de uma sala de aula está diretamente relacionado à sua dimensão (volume), geometria e combinação das superfícies absorventes e refletivas, além do controle de ruído. Com base nesses parâmetros, a NBR12179 (ABNT, 1992) fixa os critérios fundamentais para

garantir a qualidade acústica de ambientes fechados e tem por objetivo adequar o ambiente ao Tempo Ótimo de Reverberação ( $T_{or}$ ), proposto no diagrama de Bolt (1946).

Para efetuar os cálculos, foram levantados todos os materiais, áreas e respectivos coeficientes de absorção, pesquisados em diversas fontes. Esse levantamento preliminar possibilitou afirmar que a média de todos os coeficientes não ultrapassa 0,3, enquadrando o perfil da sala a fórmula de Sabine modifica, ou o método indireto (equação (9)), proposto por Hohmann, Setzer e Wehling (2004). A escolha dessa equação justifica-se, principalmente, por apresentar resultados muito próximos ao método experimental. Segundo Toro (2005, p. 59), “alguns parâmetros que atestam a qualidade acústica de um ambiente podem ser determinados de forma analítica, a partir de modelos matemáticos [...]”.

Para os cálculos, utilizou-se como base uma planilha desenvolvida no *software* EXCEL por Valle (2014), a qual permite calcular o TR, utilizando as fórmulas de Eyring e Sabine, informando os materiais e áreas correspondentes. Para adequar a proposta desta pesquisa, foi excluída a fórmula de Eyring e adaptada à fórmula de Sabine para o método indireto. Para fins de comparação, foi incluído, no gráfico, o tempo ótimo de reverberação, segundo o que preconiza a NBR 12179 (ABNT, 1992). Sobre os parâmetros variáveis que envolvem os cálculos, adotou-se como padrão uma sala com quarenta alunos, janelas abertas e cortinas recolhidas com redução de 50% da área.

#### **3.2.4 Estudo sobre as geometrias das salas**

Para complementar as análises, foram feitos dois estudos sobre as geometrias das salas, descritos a seguir.



### 3.2.4.1 Proporção entre as dimensões

Neste, primeiro verificou-se, através do diagrama Bolt (1946), se as proporções entre as dimensões das salas estão adequadas para um bom desempenho acústico.

## 1.2 Método da Modelagem Acústica Geométrica

No segundo estudo sobre a geometria, a análise foi direcionada à forma das salas. Para isso, os ambientes escolhidos foram simulados no software ECOTECH da Autodesk,<sup>®</sup> pelos modelos tridimensionais. O objetivo é entender como as medidas, proporções e configuração dos elementos físicos podem influenciar no resultado, por meio das reflexões das ondas sonoras nas superfícies, sejam por interferências de vigas, pilares, paredes com ou sem paralelismos, etc. Dessa forma, por considerar que o foco da avaliação é a estrutura arquitetônica, desconsideraram-se elementos que não se configuram parte da estrutura físico-construtiva, como mesa, cadeiras, cortina, etc.

Para essa análise, utilizou-se uma fonte posicionada a 1,70m de altura, sobre o eixo central da sala e a um metro da lousa, nas três salas selecionadas. Para facilitar a visualização, optou-se por dividir as análises em três seções, avaliando o comportamento da energia sonora no plano horizontal, vertical e agrupado em perspectiva. As imagens foram registradas quadro a quadro com seus respectivos tempos, conforme sequências de imagens apresentadas na Figura 35. Adotou-se a frequência de análise em 1Khz, por estar em um ponto médio na faixa de frequência da voz humana.

Para essa simulação, utilizaram-se as seguintes configurações:

Type of source: *Spherically Random e Circular Pattern*

Azimuth Angle: 180°

Axial Rotation Angle: 90°  
Angle Increments: 1°  
Bounces: 16  
Display Rays: *Animated Particles e Animated Rays*  
Frequency: 1Khz  
Show Rays / Particles: Rays as arrows

Sobre os ensaios simulados (Figura 33), é possível entender o comportamento do som, analisando a progressão das cores das partículas e suas reflexões. A cor verde refere-se aos sons diretos, os quais têm suas primeiras reflexões nas superfícies e, ainda assim, são considerados de boa qualidade. A cor amarela, qualificada como sons de reflexão útil, também tem grande importância para a inteligibilidade, principalmente em salas grandes com baixos tempos de reverberação, onde algumas reflexões se tornam fundamentais para direcionar o som emitido pelo professor para o expectador mais afastado. A cor vermelha, embora não apareça nessa análise, refere-se ao eco, fenômeno indesejável para esse tipo de uso e, geralmente, presente em salas com dimensões muito elevadas. A reverberação está representada pela cor ciano, fenômeno que demanda cuidados. Em salas de aula, é fundamental manter o tempo de reverberação baixo, porém não deve estar próximo de zero, uma vez que as primeiras reflexões (*early reflection*) ajudam a reforçar a voz do orador (BRADLEY, 1986). Por fim, temos a cor azul, que representa os sons que já estão mascarados pelo ruído, por apresentar um nível de pressão sonora muito próximo de zero.

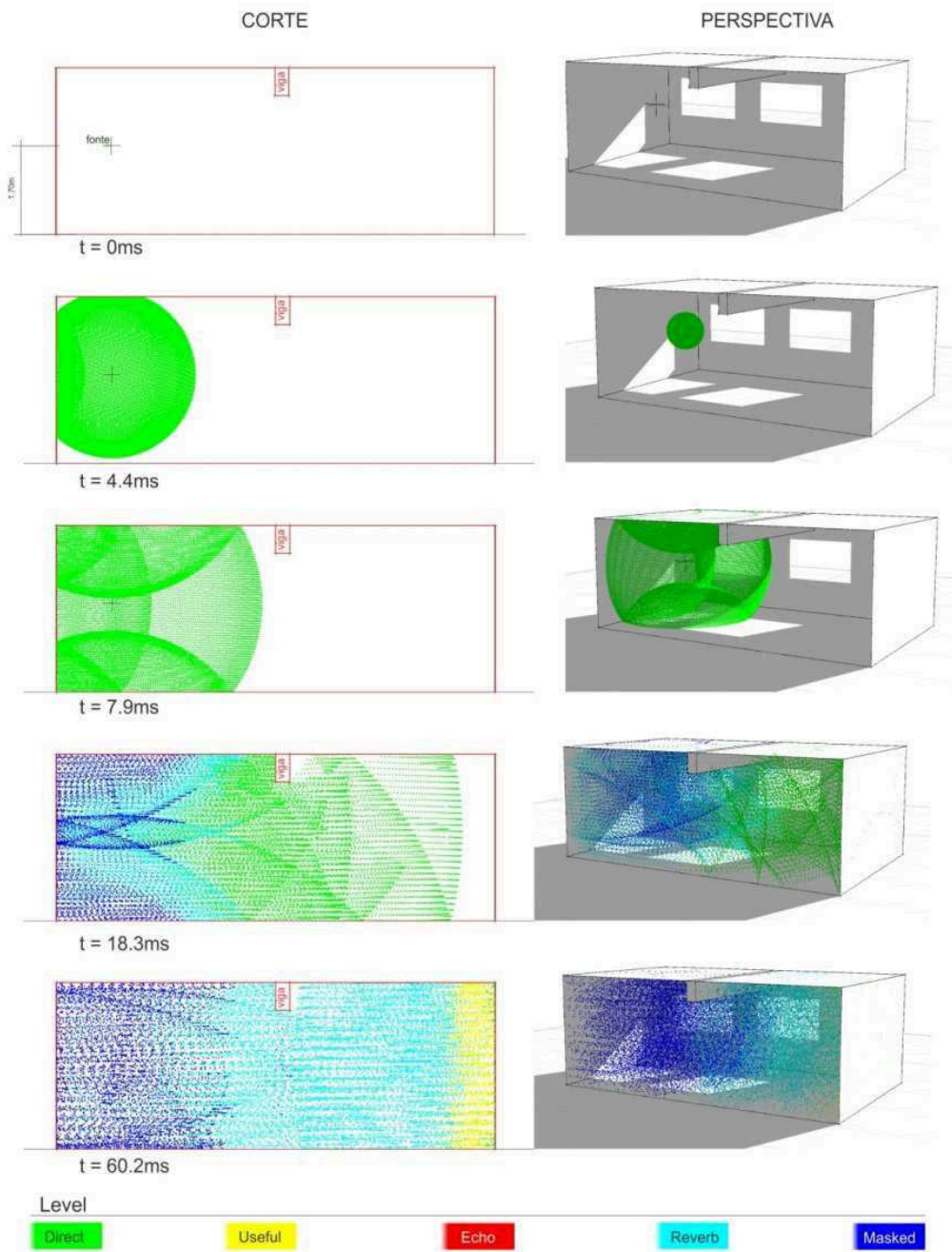


Figura 33 Exemplo de diagrama de reflexões simulado no *software* Autodesk Ecotect

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para a apresentação dos resultados obtidos, optou-se por dividir a discussão em três seções, as quais se referem aos três ambientes dos estudos de caso. As discussões, *a posteriori*, estão desenvolvidas conforme as diretrizes metodológicas propostas. Desse modo, têm-se os ambientes PV2-04, PV3-02 e PV4-03, apresentados a seguir.

### **4.1 Estudo de Caso 1 - sala de aula PV2-04**

#### **4.1.1 Análise dos questionários**

Buscando maior celeridade no processo, optou-se por coletar as informações referentes aos docentes, por meio de um questionário *online*, enviado por e-mail aos profissionais que lecionam nas salas em questão, conforme descrito no capítulo 3. A partir das respostas obtidas de forma presencial, comparadas às recebidas em formato digital, foi possível fazer algumas constatações no que diz respeito ao nível de riqueza e precisão das informações. Os questionários respondidos *in loco* continham uma maior variedade de informações vivenciadas, sobretudo nas questões abertas, ao contrário dos obtidos por meio digital. Avaliando esse fato, é possível entender que a experiência auditiva vivenciada traz consigo uma riqueza cognitiva que não é possível memorizar em longo prazo, corroborando com Gindri, Keske-Soares e Mota (2007), que relatam que o armazenamento da memória auditiva é caracterizado pela memória de curto prazo, e seu processo de retenção de informações é muito inferior à memória visual. Assim, faz-se uma ressalva sobre as vantagens da aplicação desse instrumento, conforme apontado por Rheingantz et al. (2009). Quando se trata de investigações no campo perceptivo auditivo,

sob a ótica dessas constatações, torna-se imprescindível ter cautela na forma de aplicação do questionário, buscando maior precisão e detalhes sobre os aspectos sonoros experimentados.

Sobre os aspectos abordados no questionário, dois deles buscam investigar no universo pesquisado, questões relacionadas à audição e à fala. Dessa forma, corroborando com os resultados obtidos por Losso (2003), 2% dos alunos possuem algum tipo de deficiência auditiva. Esse valor se mostra abaixo da média nacional, que do ano de 2000 a 2010 evoluiu de 2% para 5,1% (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2012), evidenciando a gravidade de um problema ambiental que ocupa o terceiro lugar entre os que afetam o maior número de pessoas (ZANNIN, 2002).

Sobre os problemas vocais, 50% dos docentes responderam que sempre é necessário aumentar o tom de voz para lecionar. Os resultados mostram que 57% deles já tiveram algum tipo de problema na voz. Valores muito próximos aos 59% obtidos por Losso (2003). Dos problemas vocais identificados, 57% referem-se à disfonia (rouquidão), conforme Gráfico 1. Um valor bastante expressivo, porém bem abaixo dos 90% encontrados por Alves, Araújo e Xavier (2010) em uma pesquisa realizada com educadores do ensino fundamental. Se compararmos os dois valores às descobertas feitas por Picard e Bradley (2001), essa diferença pode ser parcialmente explicada pela tendência natural de se aumentar a intensidade da voz quanto mais jovem forem os alunos. Obviamente, seria um equívoco generalizar as situações, pois as condições ambientais, em que está inserida a escola, têm influências diretas na intensidade da voz utilizada para lecionar, e conseqüentemente nas disfunções vocais provindas do efeito “Lombard<sup>14</sup>”.

---

<sup>14</sup> Teoria que descreve a tendência natural do ser humano de falar mais alto em ambientes mais ruidosos

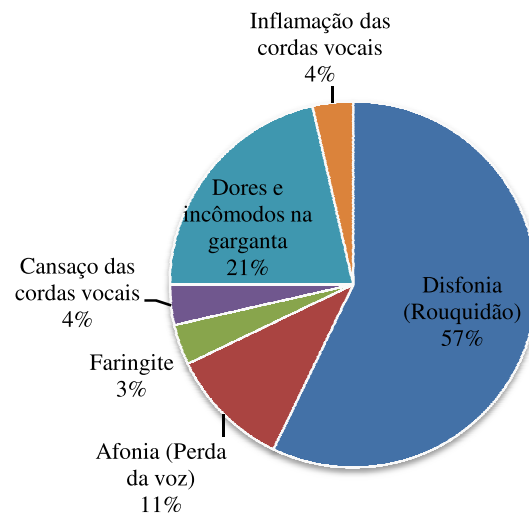


Gráfico 1 Problemas vocais identificados em função do uso da voz para lecionar

Sobre os aspectos acústicos, 69% tem uma visão negativa quanto ao ruído da sala, dado que leva a investigar as origens do problema. Ao serem questionados sobre o nível de dificuldade de exercer suas funções com o ventilador ligado, 62,5% dos docentes classificaram como “muito difícil” (-3) lecionar e 44,6% dos alunos classificaram “muito difícil” (-3) entender as aulas expositivas (Gráfico 2).

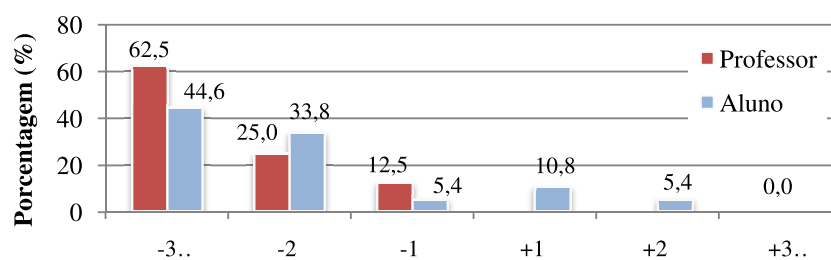


Gráfico 2 Resultado do questionário: com o ventilador ligado, qual é o nível de dificuldade para entender o professor (ou lecionar) ?

Os resultados da questão que investiga as origens do ruído ainda apontam que grande parte do ruído vivenciado pelos usuários provém de conversas e movimentações dos alunos na área de circulação e dos veículos que transitam pela Avenida Norte (Gráfico 3).

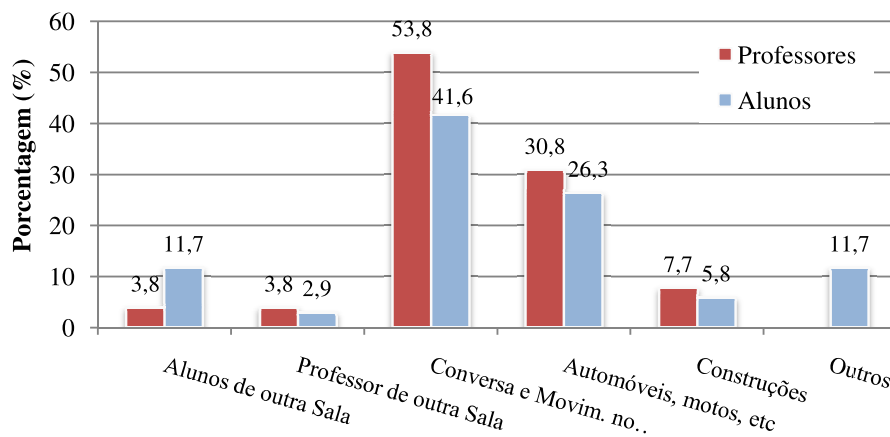


Gráfico 3 Resultado do questionário: O “barulho” que você ouve vem de onde?

Do ponto de vista do condicionamento acústico, os primeiros resultados que apontam para uma baixa eficiência indicam que 62% dos usuários têm uma percepção negativa sobre o nível de inteligibilidade, prevalecendo o resultado de -2 com 30%, conforme Gráfico 4. Sons “embaralhados”, como proposto pela pergunta, indicam um tempo de reverberação elevado, e podem ter suas origens no excesso de paralelismo combinado com superfícies de baixa absorção acústica.

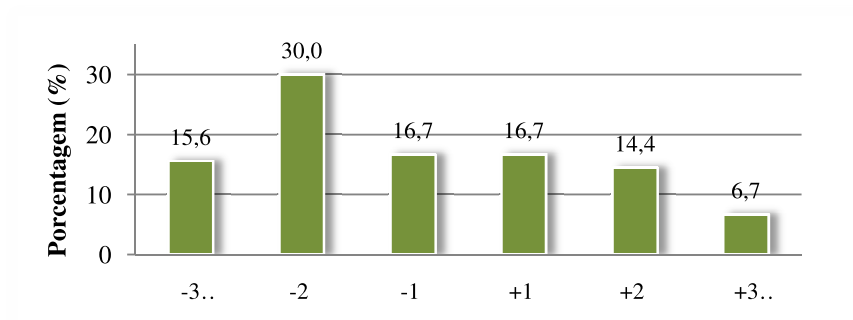


Gráfico 4 Resultado do questionário: Você ouve com clareza tudo que é dito pelo professor (ou aluno) ou o som parece “embaralhado”?

#### 4.1.2 Análise pelo método experimental

Sob a suspeita de que o comportamento acústico das salas avaliadas está diretamente relacionado ao comportamento térmico, as aferições foram executadas, simulando períodos quentes e frios, conforme descrito no capítulo 3.

Para a condição de frio, nomeado neste trabalho como Condição 1, as portas e janelas permaneceram fechadas, e o ventiladores desligados. Para a avaliação do ruído de fundo, obteve-se um valor de  $Leq(A)$  de 41,36 dB, resultado muito próximo do que é considerado ideal e dentro da faixa admissível estabelecida pela NBR 10152 (ABNT, 1987). O  $NPS_{máx}$  foi de 49,40dB, com poucos picos fora da média, evidenciando a entrada de ruídos intermitentes de origem externa, visto que a sala estava vazia, conforme apresentado no Gráfico 5. Contudo, embora tenha se mostrado adequada do ponto de vista acústico, é evidente que esta sala tem sua ambiência comprometida na condição estabelecida, uma vez que não apresenta ventilação cruzada mínima, suficiente para manter a salubridade do espaço. Como exemplo disso, se a sala não possuísse janelas, apenas a porta de entrada, suas condições de ruído (externo) seriam ainda menores, porém ainda mais comprometedoras sob os aspectos térmicos.



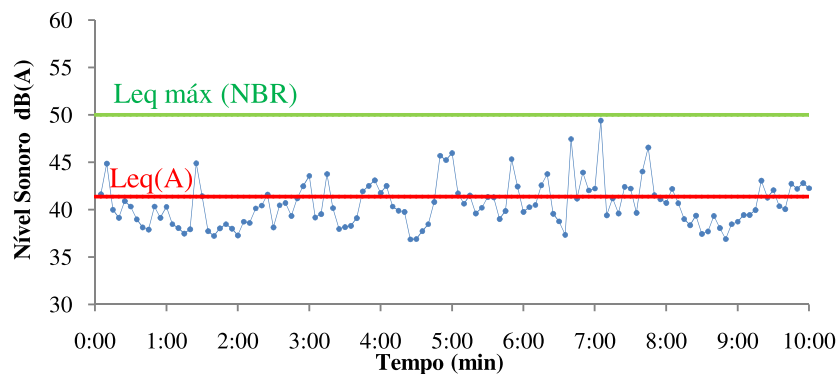


Gráfico 5 Condição 1: Nível de Pressão equivalente na faixa de ponderação A aferido por 10 minutos na sala PV2-04

Ao submeter o espaço a uma nova configuração, com janela e porta aberta e ventiladores ligados (Condição 2), obtêm-se resultados completamente diferentes. O  $Leq(A)$  alcança um valor de 68,39dB, o  $NPSmáx$  69,37dB e o  $NPSmín$  67,63dB. A baixa amplitude entre os valores demonstram que os ruídos intermitentes tiveram pouco influência no resultado final. É notório que os resultados obtidos refletem a interferência quase exclusiva dos ventiladores, com um  $Leq$  extremamente acima do que estipula a norma, demonstrando, dessa forma, que a sua relação de conforto com as condições térmicas é inversamente proporcional.

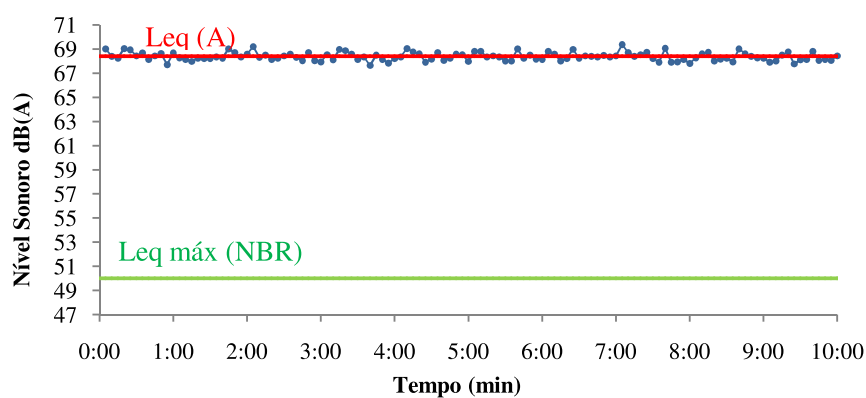


Gráfico 6 Condição 2: Nível de Pressão equivalente na faixa de ponderação A aferido por 10 minutos na sala PV2-04

Por último, avaliou-se a relação sinal-ruído (S/R). Esse método analisa se há uma diferença mínima entre a intensidade do som emitido pelo professor (sinal) e o ruído (R) prevalente no ambiente. As aferições mostraram que o  $Leq(A)$  com a sala cheia e sem a presença da voz do professor foi de 60,73dB, valor abaixo do que encontramos na Condição 2. Essa diferença é explicada pela intensidade do ventilador, já que na avaliação do S/R o professor foi orientado a ajustá-lo da forma que mais se adequasse à sua necessidade e na Condição 2 o ventilador encontrava-se na velocidade máxima. Ao aferir o NPS da sala com a presença da voz do professor, foi possível obter a relação S/R de +7,69dB, por meio das equações (1) e (2). Esse valor se mostrou muito abaixo do valor mínimo recomendado de +15dB (ASHA, 2005), conforme Gráfico 7.

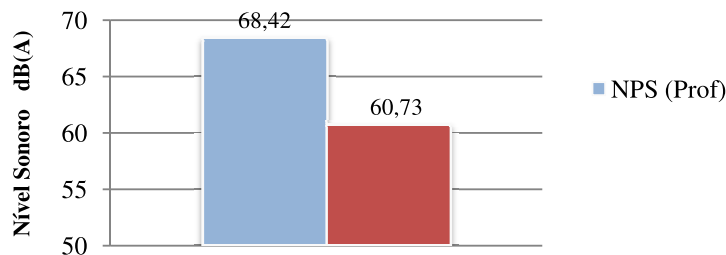


Gráfico 7 Relação S/R: NPS da voz do professor e NRF da sala PV2-04 sem a voz do professor

Por meio dos níveis apresentados é possível concluir que a baixa eficiência da relação S/R está diretamente relacionada ao alto nível do RF gerado pelos ventiladores. Comparando-se o valor do  $NPS_{prof}$  às médias propostas por Pearsons et al. (1977 apud OLSEN, 1998) para a voz masculina (Gráfico 8), é possível identificar que o professor imprime uma intensidade de voz em níveis alterados, o que explica as altas porcentagens de disfunções vocais identificadas entre os profissionais. Essa situação pode ser ainda mais

agravante, considerando-se que a voz não é linear, ou seja, segue um comportamento dinâmico, conforme o assunto em exposição e as ênfases que se pretende dar a cada abordagem. Isso significa que em alguns momentos os  $NPS_{Prof}$  poderão estar muito acima ou muito abaixo dos 68,42dB, comprometendo, ainda mais, de alguma forma, a voz ou a inteligibilidade da sala.

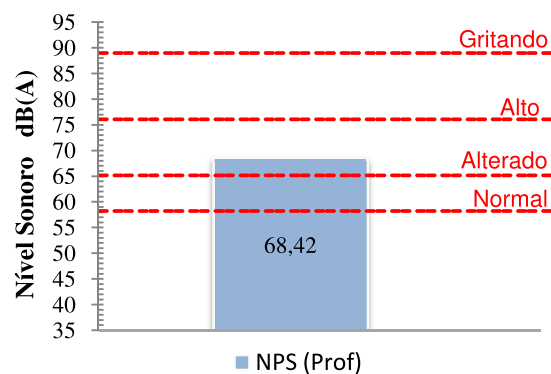


Gráfico 8 Valor do  $NPS_{prof}$  comparado aos níveis propostos por Pearsons et al. (1977 apud OLSEN, 1998).

#### 4.1.3 Análise pelo método teórico

Os valores calculados ficaram superiores ao que recomenda a norma brasileira. Nas faixas de interesse da fala humana, compreendida entre 500Hz e 2KHz, a menor diferença está na faixa de 2KHz. Os valores demonstram uma inadequação do TR, conforme Gráfico 9. Um TR com valor elevado, aliado a uma baixa relação de S/R, pode trazer consequências comprometedoras à inteligibilidade. Isso explica porque 62% dos usuários têm uma percepção negativa sobre o entendimento da fala na sala de aula.

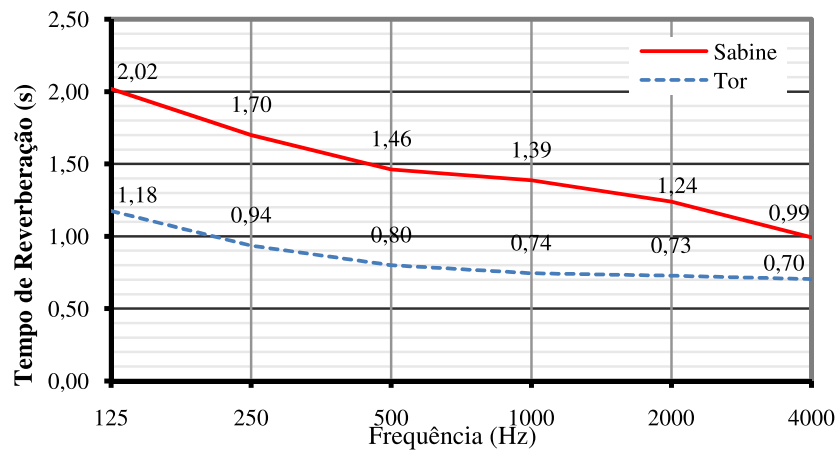


Gráfico 9 Tempo de reverberação pelo método de Sabine (modificado) e tempo ótimo de reverberação (Tor) para a sala PV2-04

#### 4.1.4 Análise da Geometria

Considerando que a geometria do ambiente é um aspecto determinante para a sua qualidade acústica, foram feitas análises que verificaram a sua adequação às proporções propostas por Bolt (1946) para salas retangulares. O resultado obtido está representado pelo ponto vermelho (círculo cruzado), demonstrado na Figura 34. A razão encontrada entre as três proporções ( $x : y : z$ ) determinou um ponto extremamente distante e fora do diagrama hachurado em cinza, evidenciando sua desproporcionalidade. Essa geometria revela uma vulnerabilidade para efeitos indesejados como ondas estacionárias, confirmando as primeiras suspeitas constantes no quadro de diagnóstico sobre sua desproporcionalidade. O valor mais discrepante (4,96) resulta do comprimento da sala. Isso significa que, baseando-se no conceito da atenuação sonora, decorrente da distância, que diz que, a cada vez que se dobra a distância, percebe-se uma atenuação na ordem de 6dB, um aluno sentado na última carteira irá perceber uma intensidade de apenas 54,55dB, uma diferença de -10dB em

relação ao ruído de fundo. Considerando que as últimas fileiras estão mais próximas da porta e da janela e, por isso, mais próximas do ruído externo, segundo o que responderam 58,1% dos alunos, essa relação negativa do S/R tende a ser maior ainda.

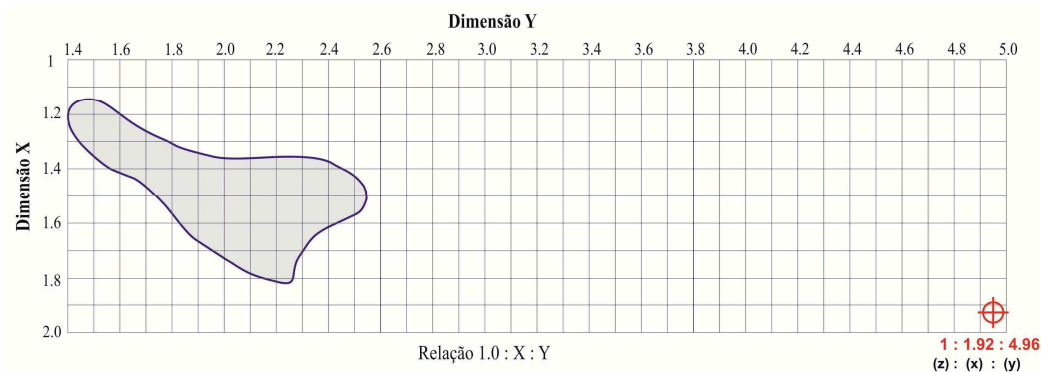


Figura 34 Análise da proporção da sala pelo gráfico de Bolt, Beranek e Newman (1946 apud AMORIM, 2007) para a sala PV2-04

Sobre as três recomendações dos autores, citadas no referencial teórico, nenhuma das medidas são múltiplas entre si, porém as dimensões não se adequam ao critério de que a razão entre a maior e a menor dimensão não pode ser maior ou igual a três. O valor encontrado foi de 4,97. Por último, sobre a adequação quanto à equação (1), as proporções não atendem à segunda parte da equação, conforme demonstrado abaixo, caracterizando-se inadequadas, segundo as recomendações de Bolt (1946).

$$\frac{C}{H} > \frac{L}{H} \quad e \quad \frac{C}{H} \leq (4,5 \times \frac{L}{H} - 4)$$

$$4,97 > 1,92 \text{ (atende)}$$

$$4,97 \leq 4,65 \text{ (não atende)}$$

Utilizando-se o método da modelagem acústica geométrica para analisar o comportamento da geometria da sala, é possível identificar algumas

interferências positivas e negativas. Do ponto de vista geométrico, a sala tem a forma de um prisma retangular. Em uma das duas menores faces encontra-se a porta e a janela, e do lado oposto, a lousa. O primeiro aspecto negativo identificado é o excesso de superfícies paralelas, no entanto, ao longo das superfícies laterais e semiembutido na alvenaria, encontram-se dois pilares circulares que descontinuum o excesso de superfícies planas, conforme ilustrado no detalhe 1 (Figura 35). Seu formato convexo atua como difusor, decompondo as primeiras energias sonoras em várias direções. Embora seja uma condição muito pontual, esse tipo de comportamento tende a minimizar os efeitos reverberantes gerados pelo paralelismo. Nos detalhes 4 (Figura 35) e 8 (Figura 36), é possível verificar uma ampla presença de energias paralelas representadas pelas setas, que se conservam até as últimas propagações. Em consequência, têm-se os campos reverberantes, representados pela cor ciano. O excesso de paralelismo, combinados ao comprimento exagerado da sala, resulta em condições como as representadas no detalhe 2, onde se pode perceber que, no momento em que os primeiros sons diretos da fonte (cor verde) chegam ao fundo da sala, a região onde se situa a fonte estão em sua quarta reflexão. Outro aspecto importante é que o campo reverberante se movimenta no sentido longitudinal, porém tende a permanecer por um período maior no trecho próximo à janela, dificultando ainda mais a inteligibilidade (Detalhe 3/Figura 35 e Detalhe 9/Figura 36).

No plano vertical, a desproporcionalidade da sala é percebida ao comparar o pé-direito de 3,04m com o comprimento de 15,12m. A propagação sofre interferências de duas vigas com 30cm de altura, que cruzam a sala no sentido transversal. Considerando que os sons diretos (em verde) e as primeiras reflexões (em amarelo) são as de melhor qualidade, parte da energia que seria direcionada da fonte ao teto e, posteriormente, ao espectador, é refletida pela viga, conforme detalhe 5. A energia que passa abaixo da viga (detalhe 6/Figura

36), parte dela é absorvida pelos alunos que se sentam à frente e apenas uma pequena parte é refletida no teto, em um ângulo de incidência tão pequeno que são refletidos diretamente para a parede da janela.

Utilizando-se da simulação por meio de partículas, e no plano tridimensional, observa-se uma concentração de pontos em formato de parábola, nas duas direções (Detalhe 10 e 11/Figura 37). Esta é uma característica do comportamento sonoro em superfícies paralelas e por consequência geram efeitos do tipo reverberação, ecos e ecos palpitantes<sup>15</sup>. Neste caso específico foi identificada apenas a reverberação.

---

<sup>15</sup> O eco é um fenômeno que acontece quando o som, refletido por uma ou mais superfícies, retornam a um mesmo receptor num intervalo de tempo maior que 1/15 do segundo. Ele é classificado como palpitante quando se observam sucessivas reflexões entre paredes paralelas.

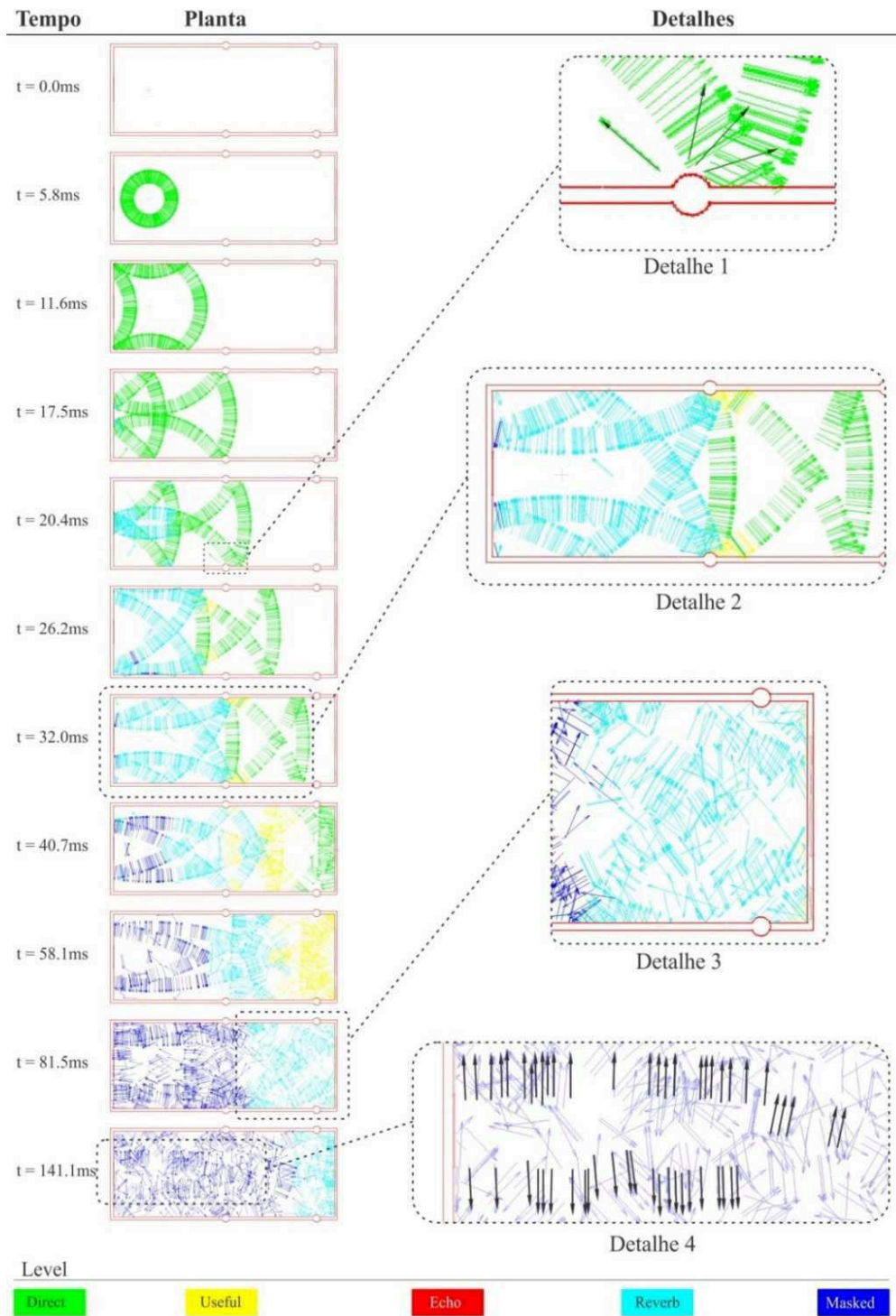


Figura 35 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano horizontal da sala PV2-04



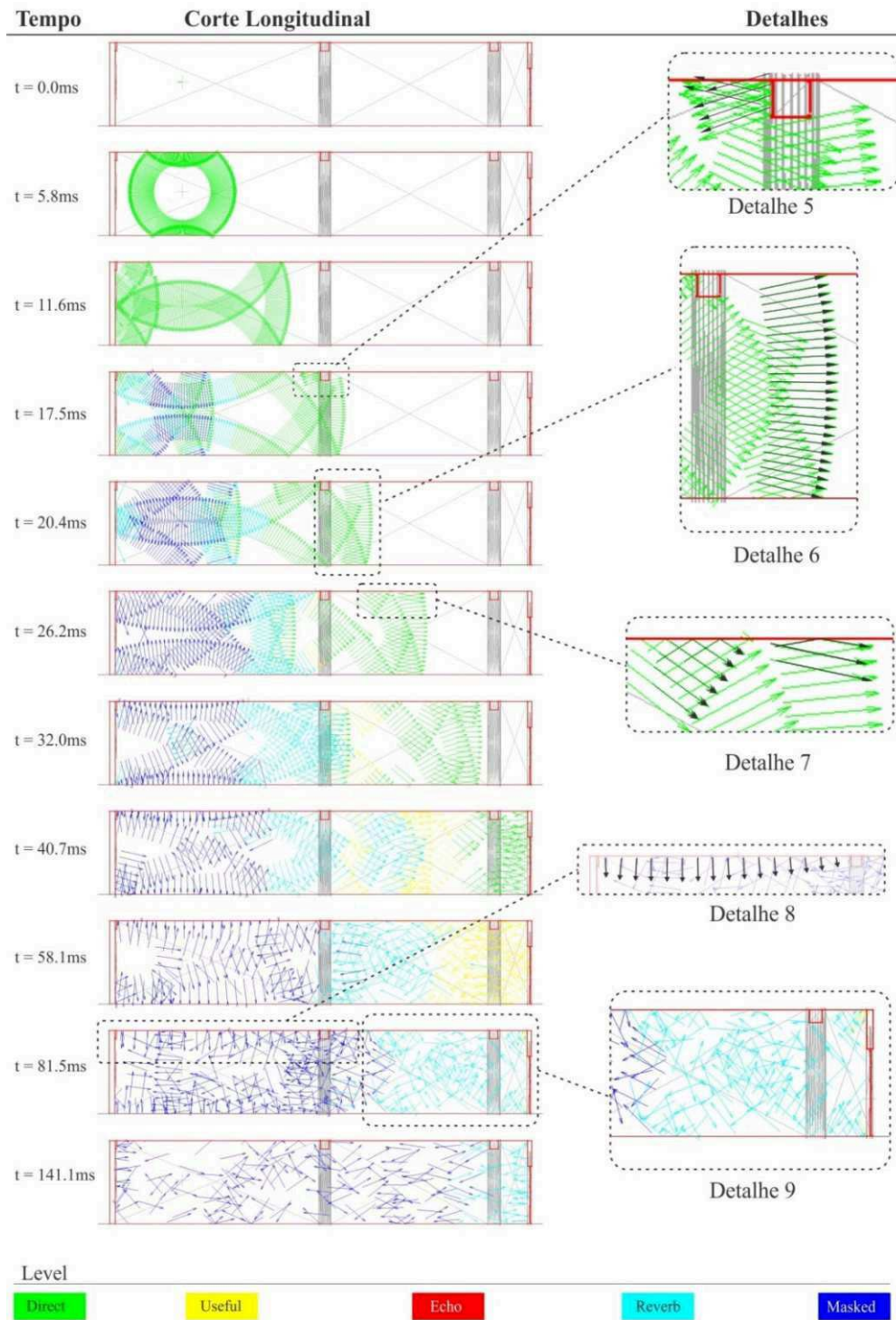


Figura 36 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano vertical da sala PV2-04

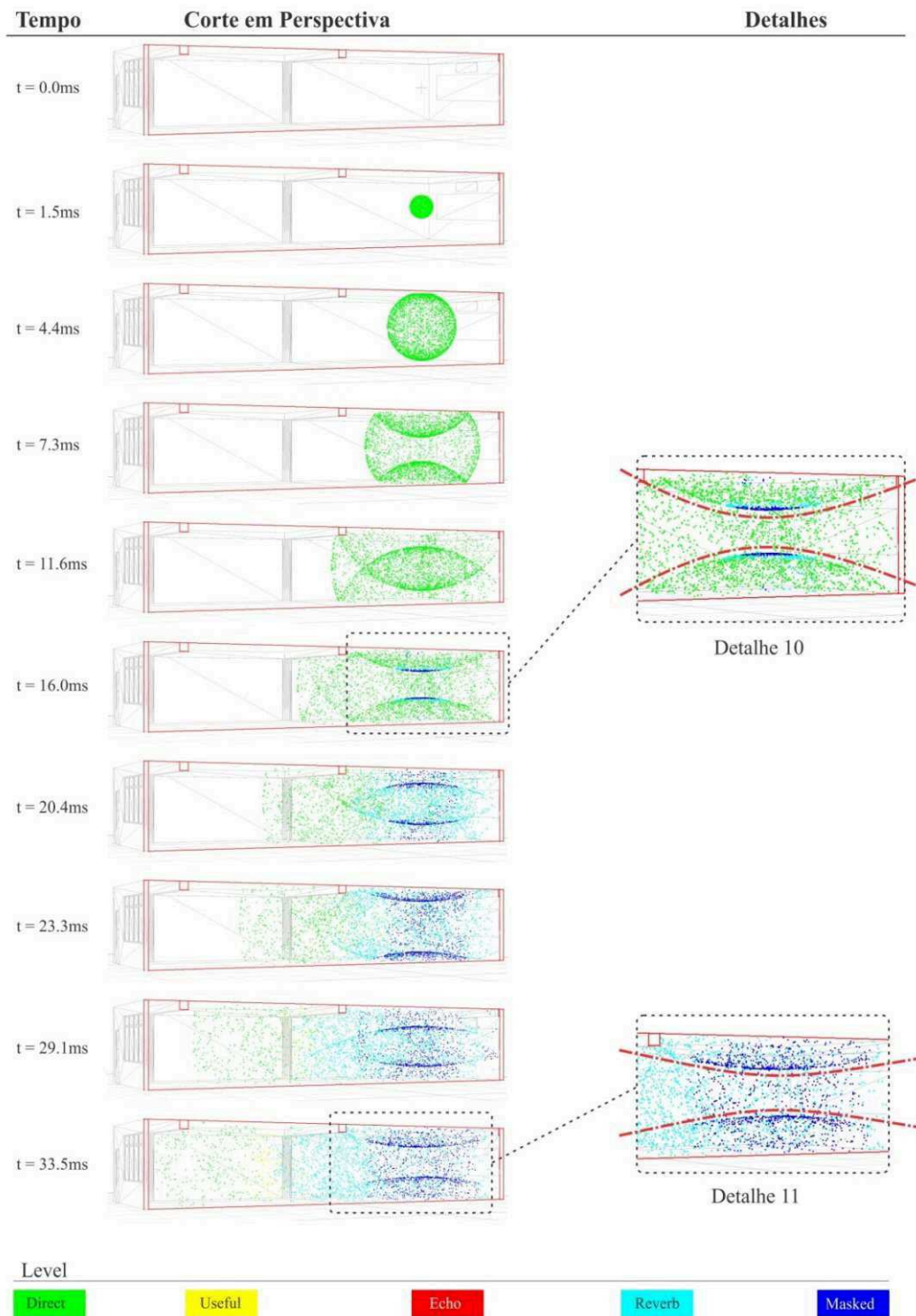


Figura 37 Sequência de imagens do comportamento sonoro, em perspectiva, na sala PV2-04

## **4.2 Estudo de caso 2 - sala de aula PV3-02**

Uma das características dessa sala é estar localizada em um ponto central da universidade, onde existe uma movimentação intensa dos alunos que utilizam a circulação do Pavilhão 3 para acesso aos Pavilhões 4, 5 e 6. Sua tipologia se diferencia dos outros dois pavilhões em estudo, por ser uma edificação em três pavimentos com aberturas em dois lados da sala.

### **4.2.1 Análise dos questionários**

A primeira investigação é quanto ao seu desempenho do ponto de vista dos seus usuários. Inicialmente, foram aplicados 49 questionários, divididos em duas turmas diferentes, a primeira com 24 alunos, e a segunda com 25 alunos. Ao iniciar as análises dos resultados, observou-se que existia uma discrepância nos resultados. As respostas da segunda turma possuíam, em sua maioria, visões bastante positivas sobre a sala, o que configurava o oposto da primeira. Atento às ressalvas apontadas por Rheingantz et al. (2009), que citam que o pesquisador deve ter um olhar atento e consciente para a interferência que sua presença provoca no ambiente analisado, iniciaram-se alguns questionamentos sobre as possíveis causas da heterogeneidade das respostas entre as duas turmas.

A primeira questão levantada incorre na condição em que foi aplicado o questionário. Ao abordar o professor sobre a pesquisa, explicando-lhe os objetivos e a forma que seria aplicado o questionário, os alunos encontravam-se sentados e em silêncio, atentos às orientações. Nesse período, o docente iniciou alguns relatos sobre as dificuldades de se lecionar nos ambientes que não fazem parte desse estudo. Segundo ele, as interferências do ruído emitido pelos esportistas no ginásio inviabilizam a aula nos espaços abaixo das arquibancadas, destinados ao seu departamento como espaço de aula, configurando uma situação grave. Ao avaliar de forma detalhada os questionários respondidos,

dois deles possuíam críticas declaradas sobre os mesmos ambientes supracitados, fugindo da proposta do questionário. Sob essas condições, levantou-se a possibilidade de que esse docente, de forma involuntária, pudesse ter influenciado os alunos a comparar a sala em questão com os fatos relatados, tornando-a extremamente satisfatória, do ponto de vista acústico. Na incerteza da ocorrência de influência sobre os resultados, optou-se por realizar uma contraprova, aplicando o questionário a uma terceira turma, de 36 alunos. Os resultados obtidos corroboram com a primeira turma analisada, comprovando as suspeitas de ingerência involuntária no questionário. Dessa forma, optou-se por desqualificar os resultados da segunda turma, somando um total de 60 questionários válidos.

O primeiro aspecto investigado está relacionado à percepção dos ruídos e suas fontes. Entre os usuários, 54% possuem uma visão negativa e acreditam que a sala é barulhenta, distribuídos da escala mais intensa (-3), a menos intensa (-1). Ao serem questionados sobre o nível de conforto em relação à quantidade e a intensidade dos ruídos externos, 66% classificam como desconfortável, tendo sua maior percentagem na escala -2, conforme Gráfico 10.

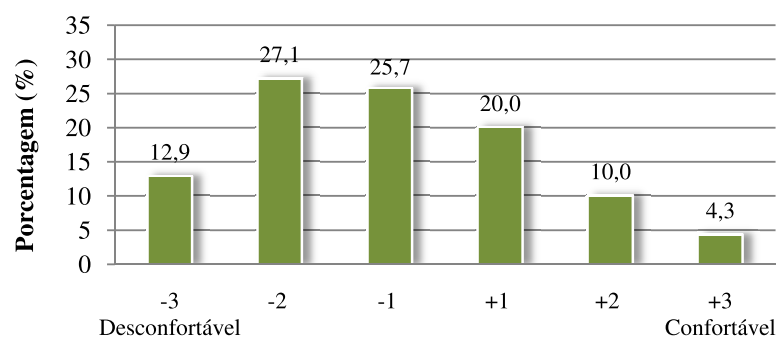


Gráfico 10 Resultado do questionário: em relação à quantidade e intensidade dos ruídos de origem externa, como você classifica?

Sobre as origens externas do ruído, 53,8% relataram que vêm de conversa e movimentação de outros alunos no corredor, e 39,4% acreditam ser dos veículos que transitam pela avenida (Gráfico 11). Esses valores corroboram com as primeiras suspeitas classificadas no quadro de diagnósticos, de que sua proximidade à avenida principal tivesse impactos negativos na qualidade acústica da sala.

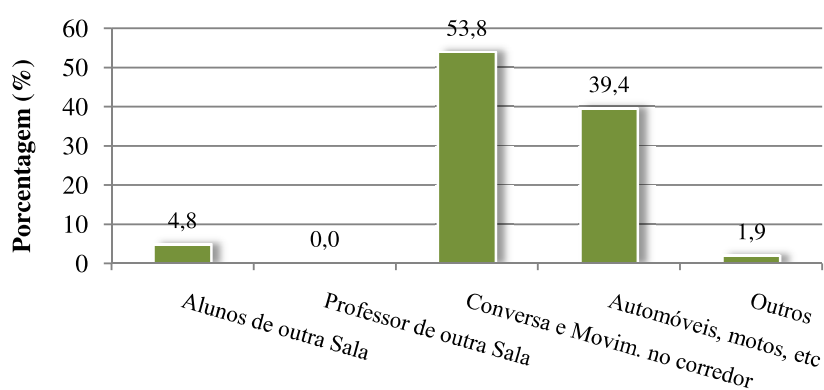


Gráfico 11 Resultado do questionário: O “barulho” que você ouve vem de onde?

Dentro da sala, 70,6% dos alunos apontaram que no fundo, próximo à porta, é o local mais ruidoso, e 20,6% acreditam ser próximo às janelas. Sobre a dificuldade diante do ruído emitido pelo ventilador, 90% dos professores apontaram ter algum tipo de dificuldade para lecionar, tendo seu resultado mais expressivo (50%) na escala -1.

Entre os alunos, 62% indicaram algum tipo de dificuldade para entender o professor (Gráfico 12). Isso explica porque 90% dos docentes indicaram que sempre é necessário aumentar a intensidade da voz para lecionar, tendo 40% na escala mais intensa, (-3) e 40% na escala (-2).

Sobre os critérios que investigam a percepção quanto ao tempo de reverberação, 46% têm uma percepção negativa sobre a clareza do que é dito em

sala (somando-se as pontuações negativas -3, -2, -1), tendo a maior marca (individual) na escala positiva +1, conforme Gráfico 13.

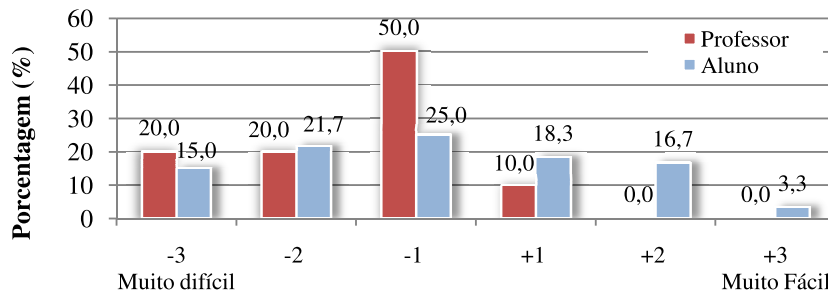


Gráfico 12 Resultado do questionário: com o ventilador (ou climatizador) ligado, qual é o nível de dificuldade para entender o professor (ou lecionar)?

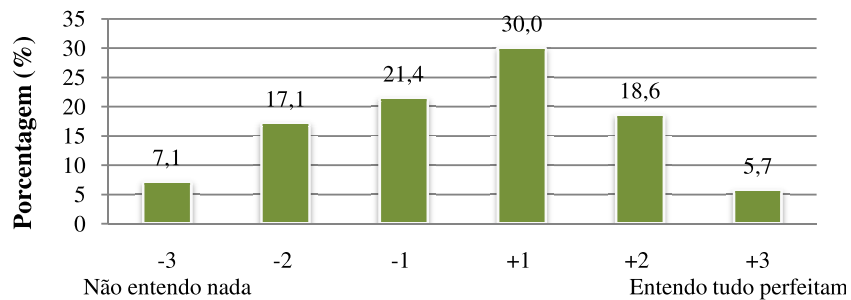


Gráfico 13 Você ouve com clareza tudo que é dito pelos alunos ou o som parece “embaralhado”?

#### 4.2.2 Análise pelo método experimental

Ao efetuar as avaliações instrumentadas, nas condições conforme já mencionadas no método descrito no capítulo anterior, verifica-se que o Leq(A),

na condição 1<sup>16</sup>, admite um valor de 42,02 dB(A) (Gráfico 14), situação admissível, segundo a NBR10.152 (ABNT, 1987).

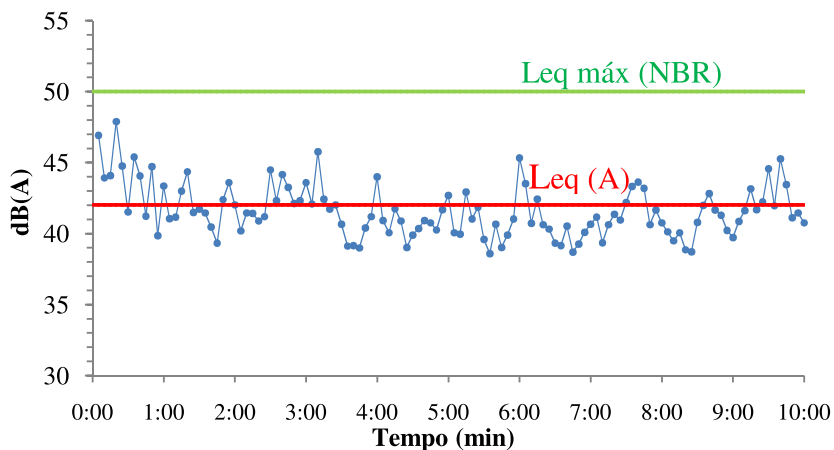


Gráfico 14 Condição 1: nível de pressão equivalente na faixa de ponderação A aferido por 10 minutos na sala PV3-02

O valor do  $NPS_{máx}$  foi registrado em 47,90dB e o  $NPS_{mín}$  em 38,60dB. A análise do gráfico registrado (Gráfico 14), permite concluir que, o nível encontrado para o  $Leq(A)$ , ainda que sob a ação do isolamento das janelas fechadas, está sujeito à influência dos ruídos externos de caráter impulsivo, tais como conversas de alunos que circulam pelos corredores e veículos que transitam pela avenida, corroborando com os resultados obtidos pela análise empírica, conforme Gráfico 11.

Sob condições opostas, os valores se elevam substancialmente. Grande parte por responsabilidade dos ventiladores, que elevam os valores do  $NPS_{mín}$  de 38,60dB para 56,10dB. O  $NPS_{máx}$  atinge o valor de 59,37dB e tem grande

<sup>16</sup> Condição que simula períodos frios, com janelas e portas fechadas e ventilador desligado.

influência de ruídos externos que entram, através das fenestraçãoes. Contudo, a baixa amplitude entre esses valores, demonstra que o valor  $Leq(A)$  de 57,05dB é fortemente influenciado pela constância do ruído emitido pelo ventilador (Gráfico 15). Em consequência, tem-se valores acima do limite máximo de 50dB aceitáveis, segundo a NBR10.152 (ABNT, 1987).

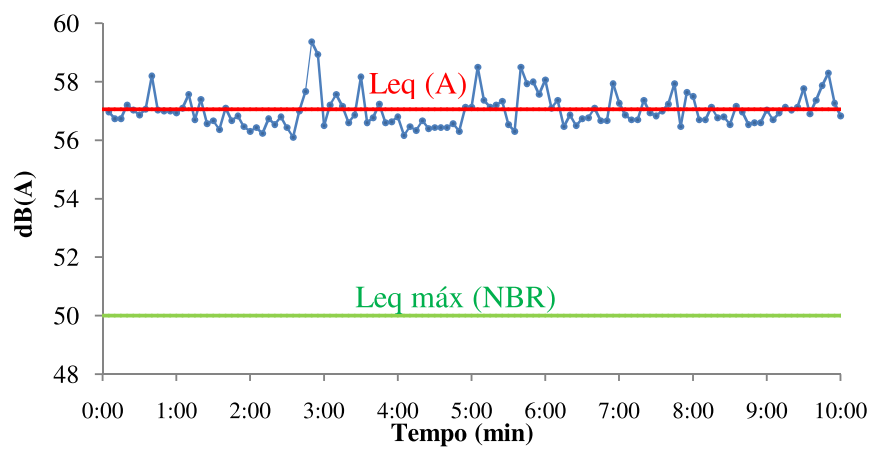


Gráfico 15 Condição 2: Nível de Pressão equivalente na faixa de ponderação A aferido por 10 minutos na sala PV3-02

Sobre a relação S/R, o valor obtido através das medições *in loco* foi de +8,94dB, resultado muito inferior aos +15dB recomendados para uma boa inteligibilidade (ASHA, 2005), conforme Gráfico 16. Isso explica porque 62% dos alunos demonstram algum tipo de dificuldade de entendimento.



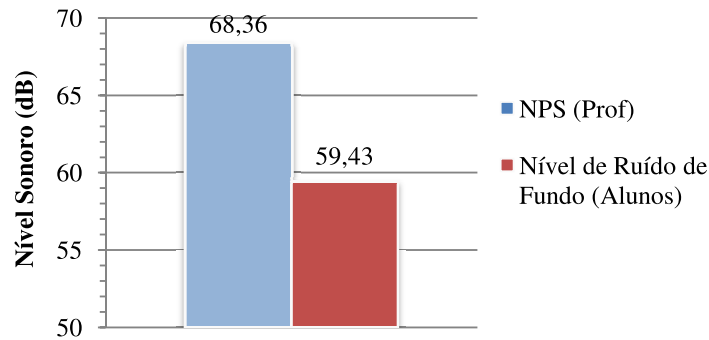


Gráfico 16 Relação S/R: NPS da voz do professor e NRF da sala PV2-04 sem a voz do professor

Comparando-se o valor do  $NPS_{prof}$  às médias propostas por Pearsons et al. (1977 apud OLSEN, 1998) para a voz masculina (Gráfico 17) é possível constatar que, nesta sala, os docentes utilizam a voz de forma alterada, o que também explica as altas incidências de disfonia, conforme acontece com a sala PV2-04.

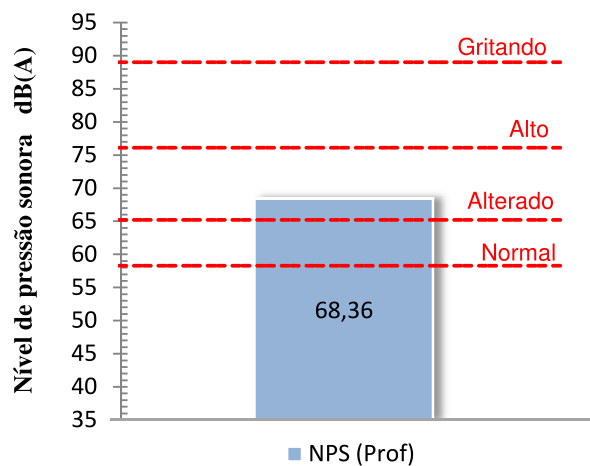


Gráfico 17 Valor do  $NPS_{prof}$  comparado aos níveis propostos por Pearsons et al. (1977 apud OLSEN, 1998)

### 4.2.3 Análise pelo método teórico

Os resultados obtidos por meio da equação de Sabine modificada demonstraram que a sala possui TR acima do recomendado (Gráfico 18), tendo, como aspecto determinante, os seus materiais de acabamento. Contudo, embora esteja fora dos limites sugeridos, suas diferenças para o tempo ótimo de reverberação ( $T_{or}$ ) são inferiores, se comparadas aos resultados da sala PV2-04. Possivelmente, isso explica as disparidades de respostas obtidas entre o questionário da sala PV2-04 e PV3-02. Enquanto na primeira, 62% tem uma visão negativa (Gráfico 4), esse percentual para a segunda ficou em 46% (Gráfico 13).

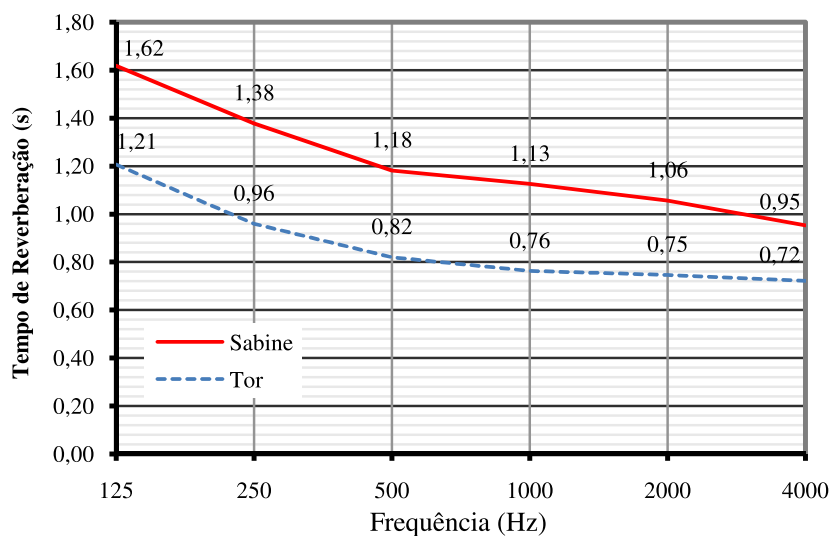


Gráfico 18 Tempo de reverberação pelo método de Sabine (modificado) e tempo ótimo de reverberação (Tor) para a sala PV2-04

#### 4.2.4 Análise da geometria

Comparando as dimensões da sala PV2-03 às proporções propostas por Bolt (1946) observa-se uma inadequação das medidas (Figura 38). A razão encontrada entre as três proporções (x : y : z), determinou um ponto fora do diagrama hachurado. Essa geometria revela uma vulnerabilidade para efeitos indesejados como ondas estacionárias, confirmando as primeiras suspeitas observadas na análise *walkthrough*. A medida mais discrepante (4,14 metros) refere-se ao comprimento da sala. Isso significa que, os alunos que sentam no fundo da sala recebem o sinal da voz do professor com uma atenuação de -13,08dB. Em outras palavras, irão ouvi-lo a uma intensidade de 55,28dB, valor abaixo do ruído de fundo que é de 59,43dB. Considerando que 70,6% dos alunos apontaram que o local mais ruidoso é nos fundos, essa diferença pode ser ainda mais crítica.

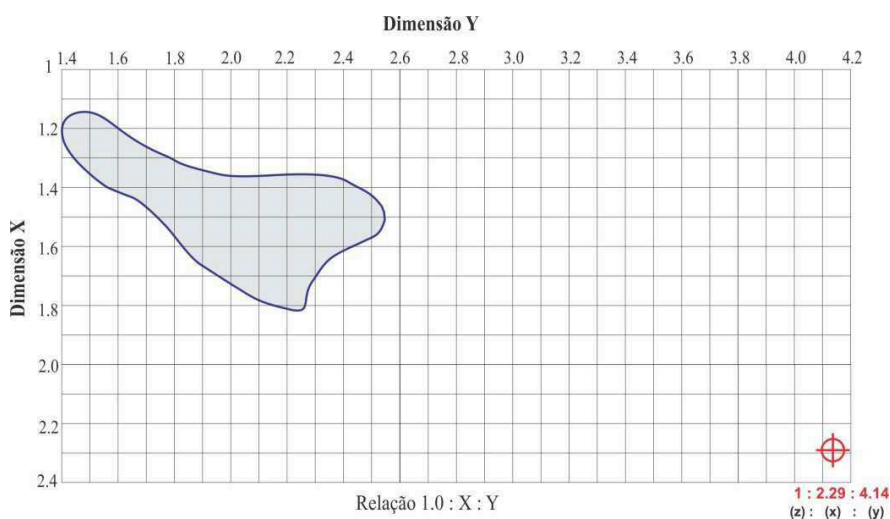


Figura 38 Análise da proporção da sala pelo gráfico de Bolt (1946) para a sala PV3-02

Sobre os critérios recomendados por Bolt (1946), nenhuma das medidas são múltiplas entre si, porém as dimensões não se adequam ao critério de que a

razão entre a maior e a menor dimensão não pode ser maior ou igual a três. O valor encontrado foi de 4,14. Sobre a adequação quanto à equação (1), as proporções atendem a esses critérios, conforme demonstrado abaixo.

$$\frac{C}{H} > \frac{L}{H} \quad e \quad \frac{C}{H} \leq (4,5 \times \frac{L}{H} - 4)$$

4,14 > 2,28 (atende)                      4,14 ≤ 6,28 (atende)

Do ponto de vista geométrico, a sala tem a forma de um prisma retangular. Tem aberturas nas paredes laterais e interferência de vigas e pilares nas superfícies internas. Sobre a análise da modelagem acústica geométrica, observa-se que a interferência desses elementos (detalhes 12 da Figura 40, e detalhe 18 e 19 da Figura 41) contribui para que haja uma concentração de reflexões na região frontal da sala, limitando as reflexões diretas para o fundo.

Nos detalhes 13, 14, 15, 16, 17 e 20 (Figura 40, Figura 41 e Figura 42), verificam-se repetições de padrões representados pelas setas paralelas, que se projetam ao longo de várias reflexões perdurando-se de forma considerável na simulação, desde os sons diretos (em verde) até os mascarados (azul). Esse tipo de configuração é um exemplo claro de formação de reverberação, gerado por superfícies paralelas com acabamentos de baixa absorção.

Alguns recursos, como os refletores acústicos, podem ser utilizados para quebrar o paralelismo demasiado e ajudar a distribuir as primeiras reflexões para os pontos de interesse, porém, é fundamental empregá-los da forma correta e identificar soluções que possam gerar efeitos contrários. Um exemplo muito comum e presente na sala PV2-04 são as janelas de abertura basculante, voltadas para a circulação. O ruído gerado pela conversa e movimentação dos alunos no corredor é direcionado ao interior sala, por meio da reflexão da reflexão da superfície do vidro, que atua como um refletor acústico (Figura 39), fato que

demonstra como as exigências sobre os aspectos térmicos vão de encontro às necessidades acústicas (LOSSO, 2003).

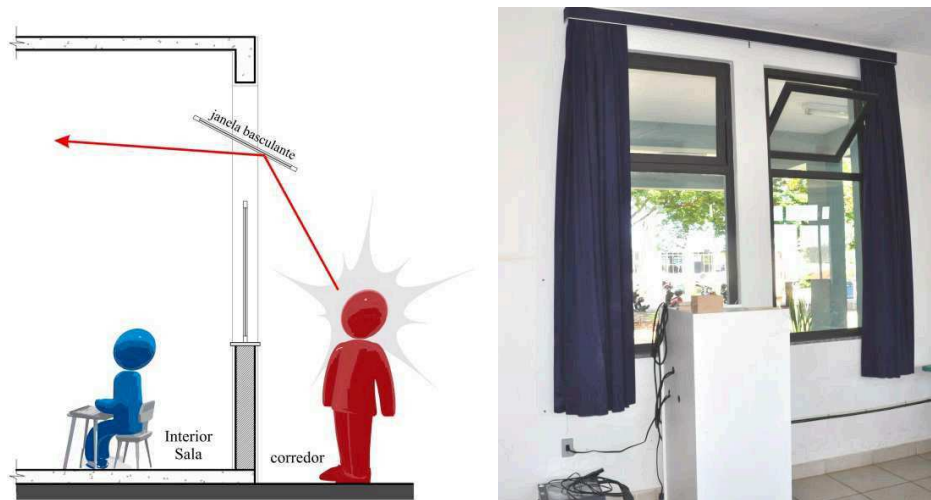


Figura 39 Efeito refletor da janela basculante da sala PV3-02

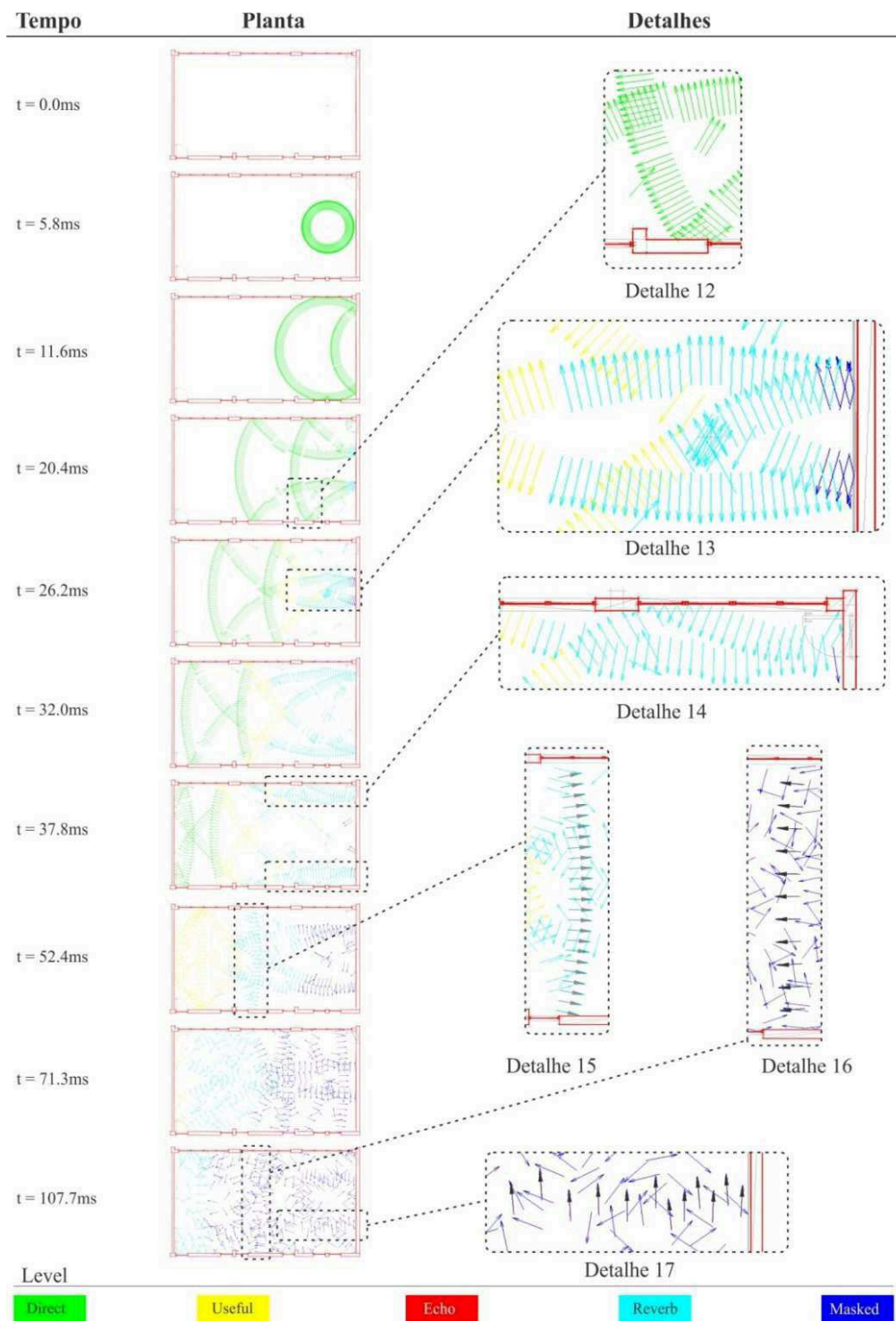


Figura 40 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano horizontal da sala PV3-02

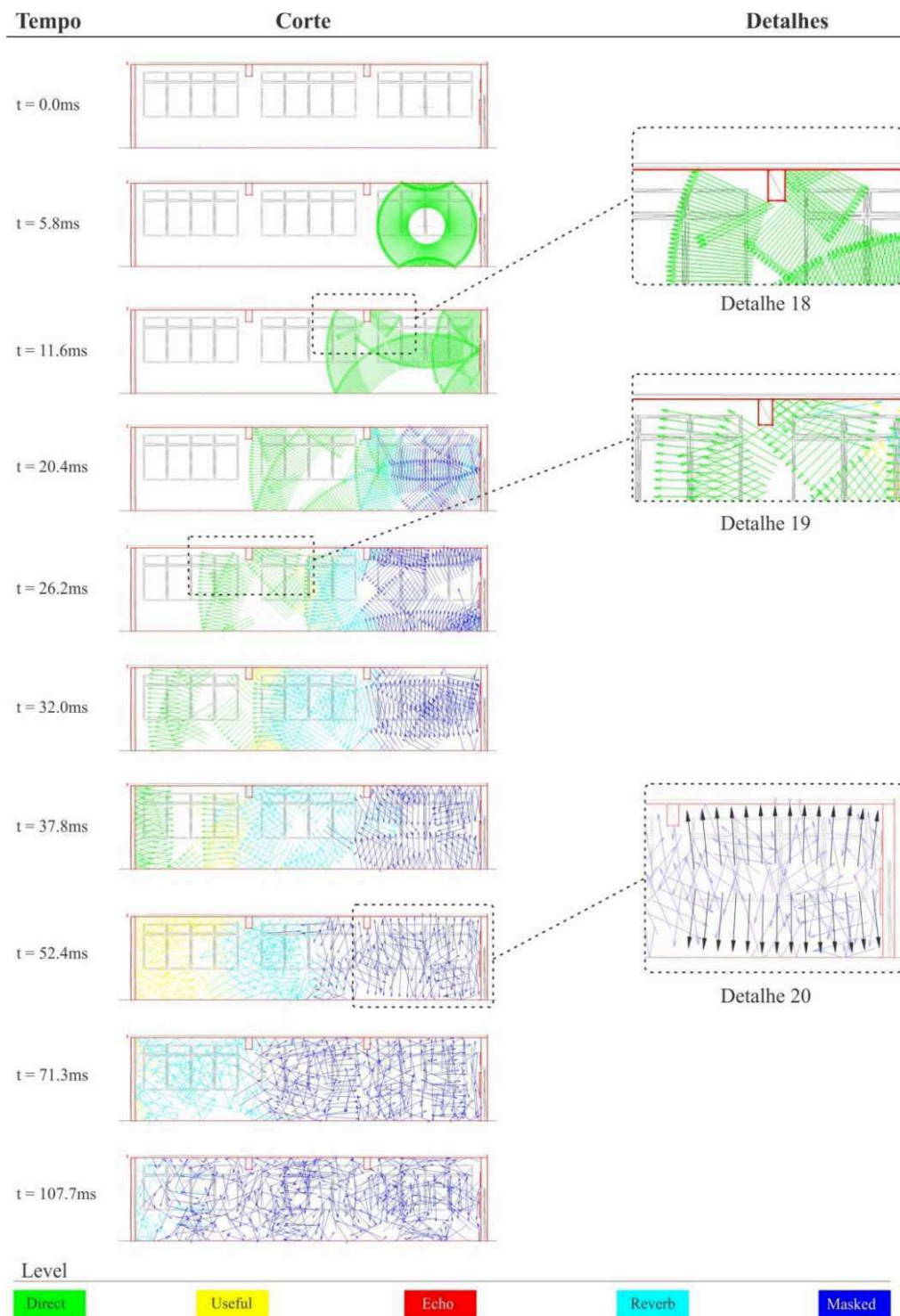


Figura 41 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano vertical da sala PV3-02

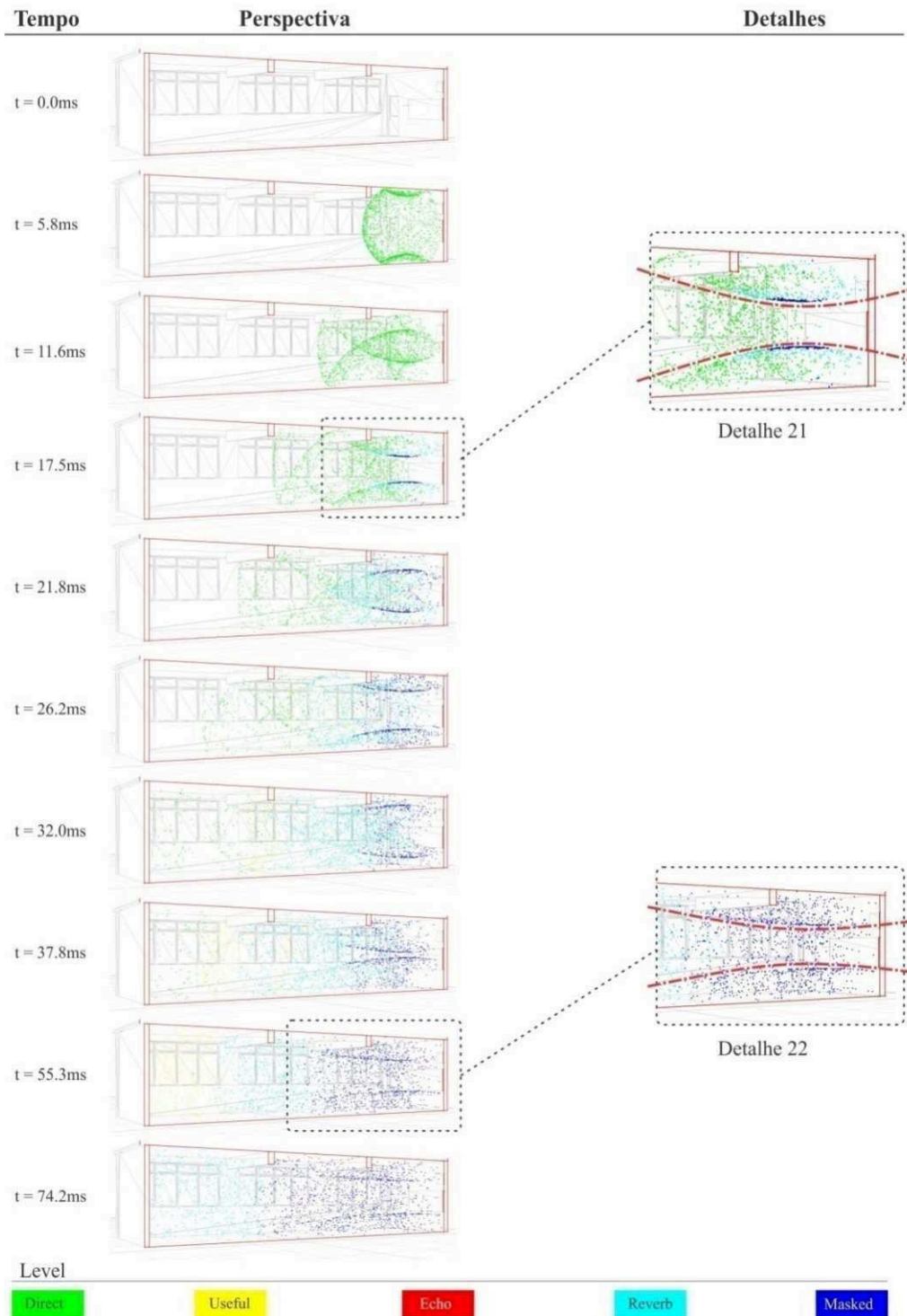


Figura 42 Sequência de imagens do comportamento sonoro, em perspectiva, na sala PV3-02



### 4.3 Estudo de caso 3 - sala de aula PV4-03

A sala PV4-03 é uma das três salas que constituem o Pavilhão 4, localizado entre as Avenidas Norte e Central. É uma das poucas salas de aula com capacidade para 140 alunos. Para as investigações qualitativas dessa sala, foram registradas respostas de um universo de 16 docentes e 94 discentes, o ultimo dividido em duas turmas.

#### 4.3.1 Análise dos questionários

O primeiro aspecto investigado refere-se à percepção quanto aos ruídos na sala. Entre os usuários, a metade deles tem uma percepção positiva, sendo que 31,6% deles entendem que a sala é silenciosa, na escala +1, conforme Gráfico 19.

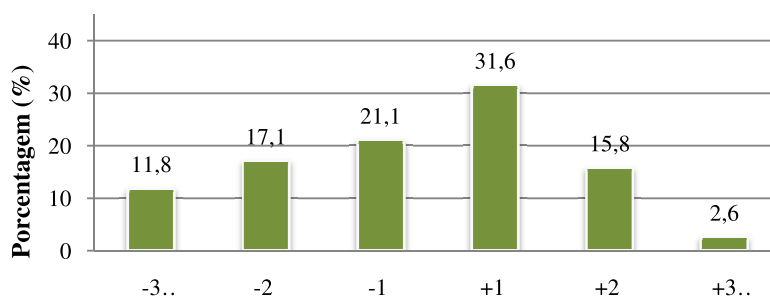


Gráfico 19 Resultado do questionário: Você considera que esta é uma sala silenciosa ou “barulhenta”?

Buscando identificar as origens do ruído, foi questionado qual o nível de dificuldade de entender o que é dito pelo professor (ou lecionar), com o climatizador ligado. A incidência de respostas negativas foram maiores nos questionários direcionados aos professores (88%) com 50% das respostas na

escala -3 (muito difícil). Já, para os alunos, esse índice caiu para 66%, com sua maioria (28,7%) apontando a escala -1, conforme Gráfico 20.

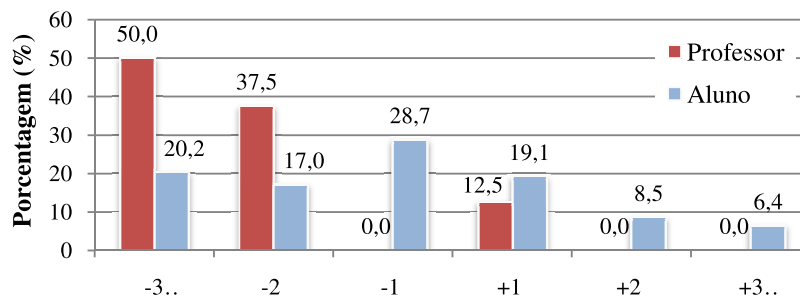


Gráfico 20 Resultado do questionário: Com o climatizador ligado, qual é o nível de dificuldade para entender o que é falado pelo professor (ou lecionar)?

Os resultados obtidos na pergunta que investiga os pontos mais ruidosos da sala apontam para o climatizador como o causador desse desconforto. Entre os alunos que acreditam ter regiões dentro da ambiente com mais ruído, 74,5% destacam o fundo da sala, próximo ao climatizador (Gráfico 22).

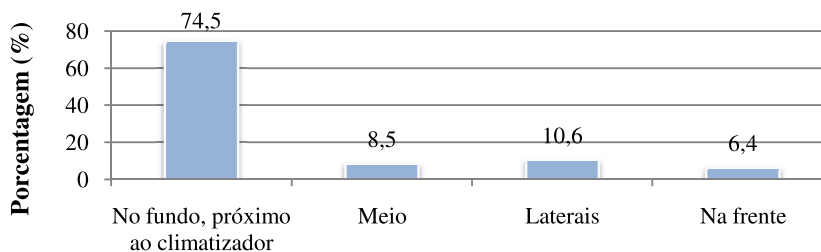


Gráfico 21 Resultado do questionário: Você acha que tem algum lugar na sala que seja muito ou mais “barulhento”? Onde?

Sobre os ruídos externos, 62,3% responderam que têm suas origens nas conversas e movimentações de outros alunos nas áreas de circulação e saguão central, e apenas 17% apontaram os veículos como responsáveis (Gráfico 22).

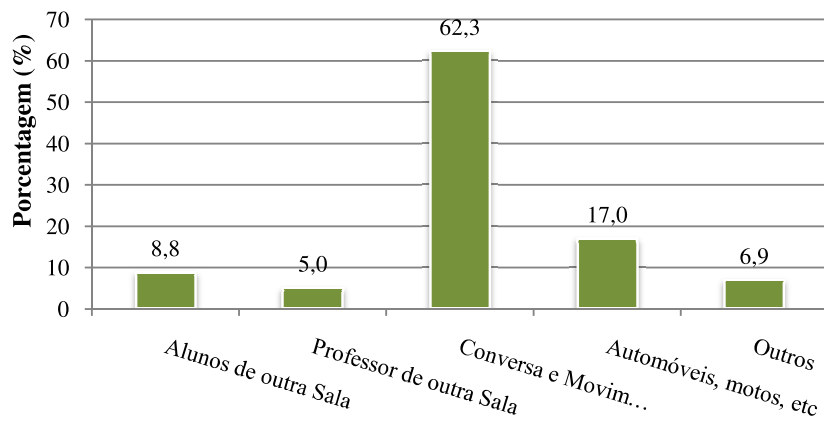


Gráfico 22 Resultado do questionário: O “barulho” que você ouve vem de onde?

Uma das consequências do ruído pode ser identificada nos resultados da pergunta: com que frequência é necessário aumentar o “tom” de voz para lecionar? Entre os docentes, 31,3% responderam sempre (escala -3) e 43,8% na escala -2, justificando os altos índices de disfonia, afonia e incômodos na garganta.

Sobre os aspectos que investigam os impactos da reverberação sobre a inteligibilidade dos usuários, 55% dos usuários percebem de forma positiva, tendo a porcentagem mais expressiva na escala +1 (28,2%), de acordo com o Gráfico 23.

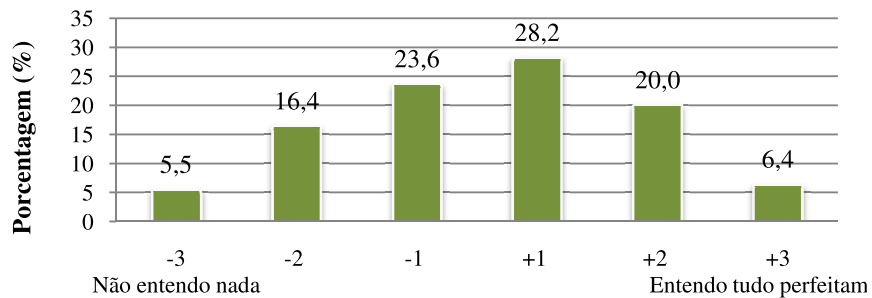


Gráfico 23 Resultado do questionário: Você ouve com clareza tudo que é dito pelo professor ou o som parece “embaralhado”?

#### 4.3.2 Análise pelo método experimental

Os resultados que avaliam o ruído do fundo (RF) na Condição 1<sup>17</sup> revelam uma boa estanqueidade sonora do envelopamento da sala. O  $Leq(A)$  obtido foi de 36,27dB, valor dentro dos limites de conforto sugeridos pela norma brasileira. O  $NPS_{máx}$  ficou em 39,73dB e o  $NPS_{mín}$  34,80dB, demonstrando pouca influência dos ruídos intrusos, com seus picos ainda dentro da zona de conforto (Gráfico 24).

<sup>17</sup> Condição que simula períodos frios, com janelas e portas fechadas e climatizador desligado.

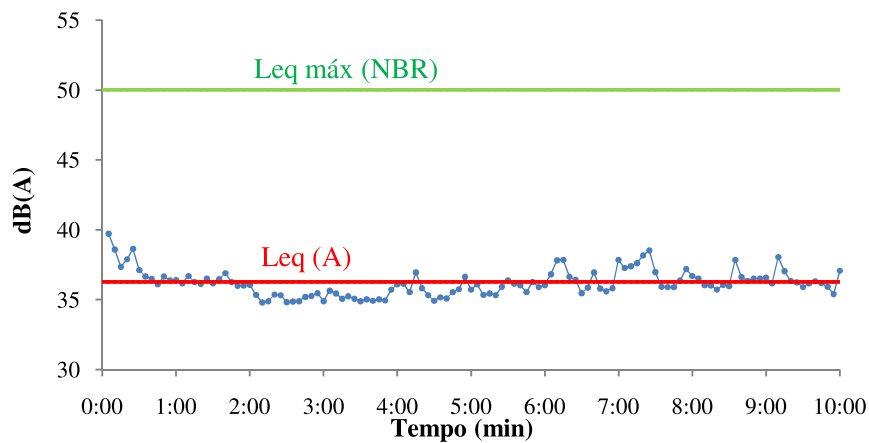


Gráfico 24 Condição 1: nível de pressão equivalente na faixa de ponderação A aferido por 10 minutos na sala PV4-03

Ao avaliar o RF sob a Condição 2<sup>18</sup>, os valores se elevam, superando os limites aceitáveis. O  $Leq(A)$  assume valor de 56,51dB, com  $NPS_{máx}$  de 57,83dB e  $NPS_{min}$  56,05dB. A baixa amplitude entre os valores máximos e mínimos dão indícios fortes da influência do climatizador no resultado final, que mantém o  $NPS_{min}$  em valores elevados, evidenciando apenas os picos dos ruídos intermitentes ( $NPS_{máx}$ ), que invadem o ambiente pelas janelas e portas abertas (Gráfico 25). Ao confrontar esse resultado ao índice de 74,5% dos alunos que apontam o fundo da sala (próximo ao climatizador) como região mais ruidosa, é possível validar sua influência direta no resultado.

<sup>18</sup> Condição que simula períodos quentes, com janelas e portas abertas e climatizador ligado.

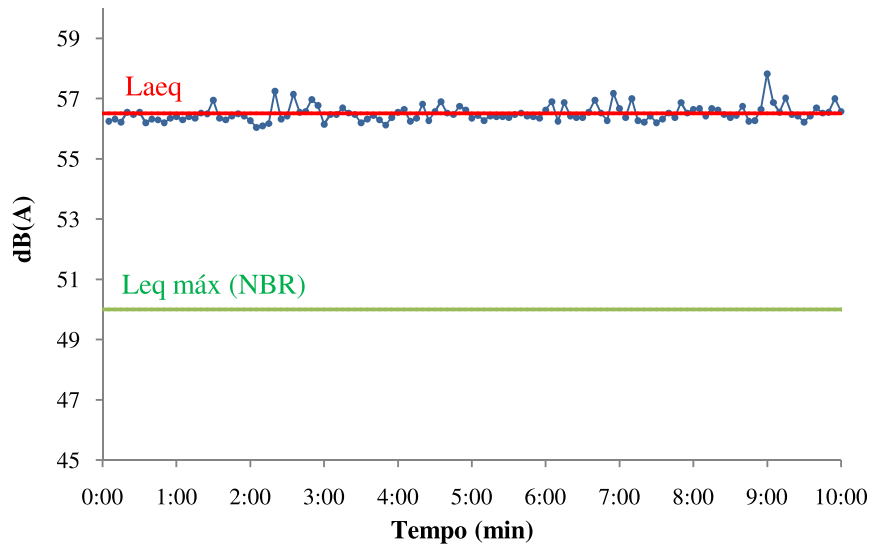


Gráfico 25 Condição 2: nível de pressão equivalente na faixa de ponderação A aferido por 10 minutos na sala PV4-03

Resgatando alguns detalhes registrados na análise *walkthrough*, essa sala passou por recentes alterações, visando a melhorias do ponto de vista térmico. Para isso, foram substituídos os seis ventiladores por dois climatizadores evaporativos. Esta pesquisa não tem como objetivo avaliar a eficácia térmica do equipamento, porém, em uma avaliação empírica e subjetiva, é possível perceber melhoras no conforto térmico, sobretudo na região central da sala, onde os ventiladores não conseguem atender por estarem distribuídos no perímetro da sala. Nessa condição, o primeiro questionamento que se faz refere-se à consequência da alteração do ponto de vista acústico. Para que fosse possível efetuar essas medições, seria necessário que os seis ventiladores estivessem em funcionamento, porém cinco deles já haviam sido desinstalados, restando apenas um ventilador que produz um ruído de 54,3dB. Dessa forma, utilizou-se da equação de somatório de grandezas logarítmicas (11) para estimar o valor produzido por seis ventiladores. Os cálculos demonstraram que o ruído

produzido era de 62,08dB, valor acima do Leq(A) de 56,51dB encontrado com o climatizador ligado. Logo, é possível concluir que o climatizador instalado foi eficiente no que tange a sua relação com os ruídos do ventilador e grau de conforto térmico produzido, porém, não atingiu sua efetividade e, tampouco, foi eficaz, comparado aos valores recomendados pela NBR10152 (ABNT, 1987).

$$NPS_{total} = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{NPS_1}{10}} + 10^{\frac{NPS_2}{10}} \right) \quad (11)$$

Sobre a relação S/R, aspecto que avalia a qualidade do sinal em relação ao ruído, o valor encontrado foi +7,70dB (Gráfico 26), insuficiente comparado ao valor de +15dB recomendado (ASHA, 2005). O resultado obtido corrobora com o índice de 66% dos alunos que têm algum tipo de dificuldade de entendimento das aulas. Contudo, é fundamental fazer algumas ressalvas quanto aos limites da eficiência de uma boa relação S/R e relação ao dimensionamento do espaço.

Silva (2002) descreve que, quando uma sala atinge área superior a 300 m<sup>2</sup> aproximadamente (situação em que se enquadra essa sala), torna-se imprescindível amplificar a voz por meio de equipamentos eletroeletrônicos. Segundo o autor, essa necessidade não configura qualquer deficiência de projeto, visto que a voz humana possui potência limitada, tornando esse o único procedimento disponível para atingir a perfeição do sistema acústico. Porém, deve ser utilizado para complementar as deficiências, nunca para substituí-las. Também é fato que, dimensionar a potência do sistema e realizar a correta auralização<sup>19</sup>, são procedimentos fundamentais para a eficácia do sistema.

---

<sup>19</sup> Auralização é um termo utilizado para significar as técnicas que tornam um campo sonoro audível por modelagem física ou matemática da fonte sonora, do ambiente e do ouvinte.

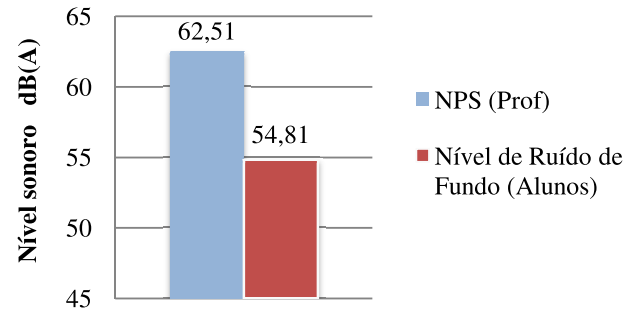


Gráfico 26 Relação S/R: NPS da voz do professor e NRF da sala PV4-03 sem a voz do professor

Ainda que se apresente como a maior sala dos três estudos de casos, esta foi a que apresentou menor esforço vocal do professor, possivelmente em virtude de apresentar o menor ruído de fundo. O Gráfico 27 demonstra que, segundo proposto por Persons et al. (1977 apud OLSEN, 1998) para a voz masculina, o valor de 62,51dB encontra-se dentro da média considerada normal, sem apresentar esforços nas cordas vocais.

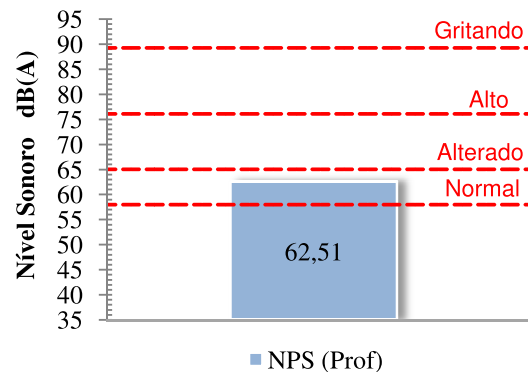


Gráfico 27 Valor do  $NPS_{prof}$  comparado aos níveis propostos por Persons et al. (1977 apud OLSEN, 1998).



### 4.3.3 Análise pelo método teórico

As análises que comparam o tempo de reverberação da sala com os valores recomendados pela NBR 12179 (ABNT, 1992) revelaram que a sala PV4-03 tem seu TR dentro dos limites recomendados nas bandas de interesse da fala. Avaliando os cálculos, é possível concluir que o forro em lã de vidro (*Forrovid Isover*), que ocupa toda a área da sala, é responsável por manter esses níveis. Seus piores desempenhos se apresentam nas baixas frequências, faixa entre 125 e 250Hz. Esse detalhe pode ter impactos negativos quando avaliamos a frequência de funcionamento dos climatizadores. Embora não tenha uma única frequência nos ruídos emitidos, utilizando-se um analisador de espectro, é possível perceber a predominância nas frequências próximas a 240Hz, faixa tênue entre os tempos adequados e os inadequados (Gráfico 28).

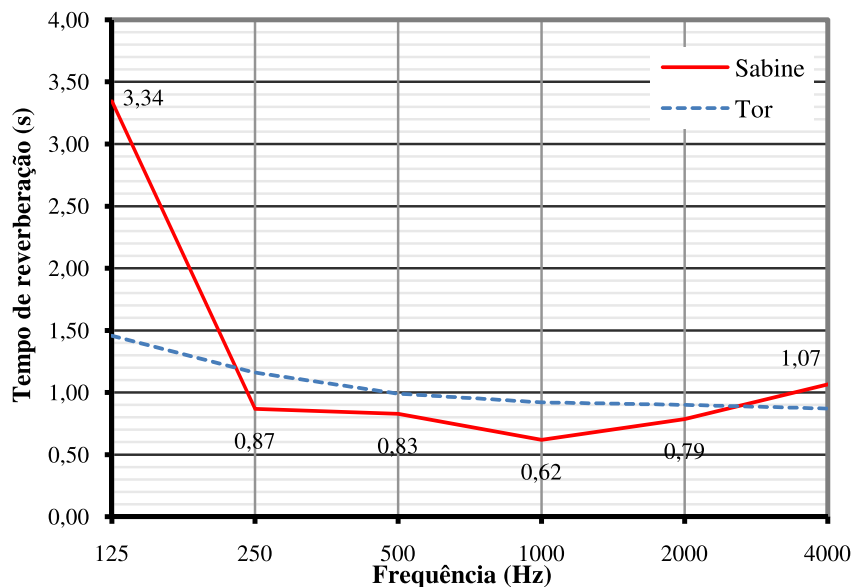


Gráfico 28 Tempo de reverberação pelo método de Sabine (modificado) e tempo ótimo de reverberação (Tor) para a sala PV2-04

#### 4.3.4 Análise da geometria

As especificidades da geometria da sala PV4-03 não se aplicam aos critérios de Bolt (1946), em razão da sua complexidade geométrica comparada ao modelo proposto pelos autores, que se caracteriza pela simplicidade da geometria de um prisma retangular. As existências de ondas estacionárias estão diretamente relacionadas a esse tipo de geometria, em função do número de superfícies paralelas e razão entre as suas medidas, característica inexistente no ambiente em questão, exceto pela condição do forro com o piso.

As simulações pelo método da modelagem acústica revelaram algumas características relevantes no seu comportamento acústico. O ambiente, que tem seu plano horizontal particularizado por uma simetria rígida, também tem um comportamento acústico simétrico, conforme se observa na Figura 44. Os detalhes 23 e 25 dessa mesma figura representam as primeiras reflexões. A conformação das empenas laterais potencializam as energias sonoras, direcionando-as diretamente aos espectadores. Todavia, nos detalhes 24 e 26 observam-se as formações das primeiras reverberações em função das superfícies paralelas. Ao longo de todas as sequências de imagens, é possível perceber o padrão de reflexão criado entre a superfície curva no fundo da sala e a parede da lousa. Embora o centro de curvatura da parede não esteja dentro do ambiente ( Figura 43), as reflexões geradas pela parede da lousa fazem com que a imagem do centro, no eixo transversal da sala, seja o foco das reflexões, como pode ser identificado nos detalhes 27 e 29 da Figura 45.

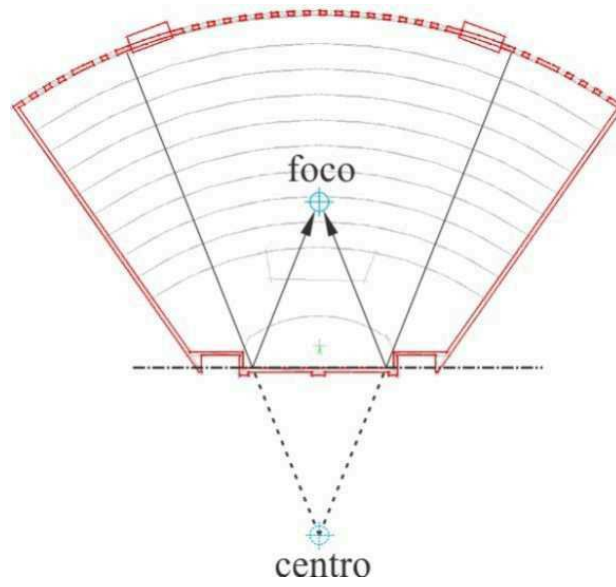


Figura 43 Ilustração do centro e foco das reflexões

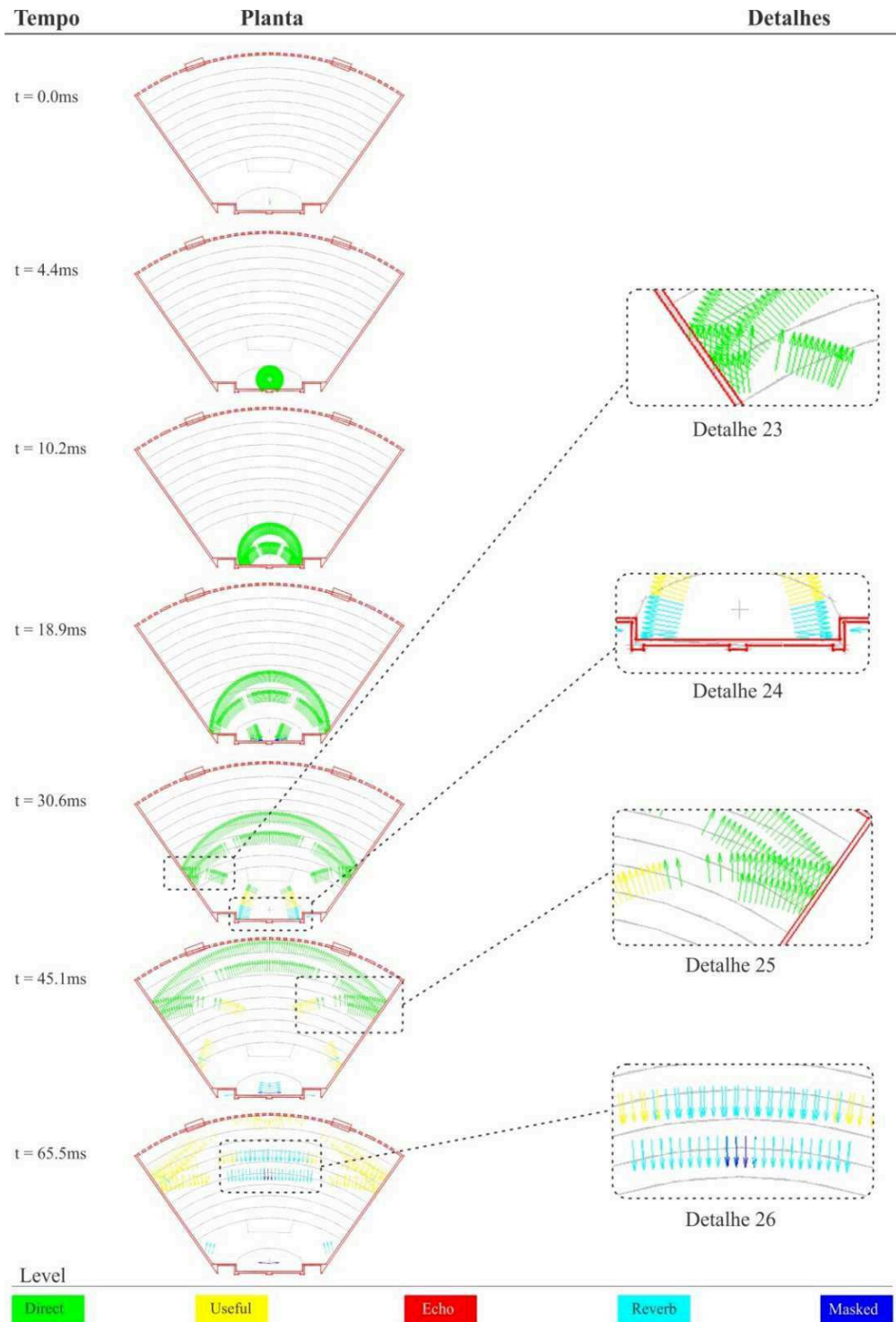


Figura 44 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano horizontal da sala PV4-03

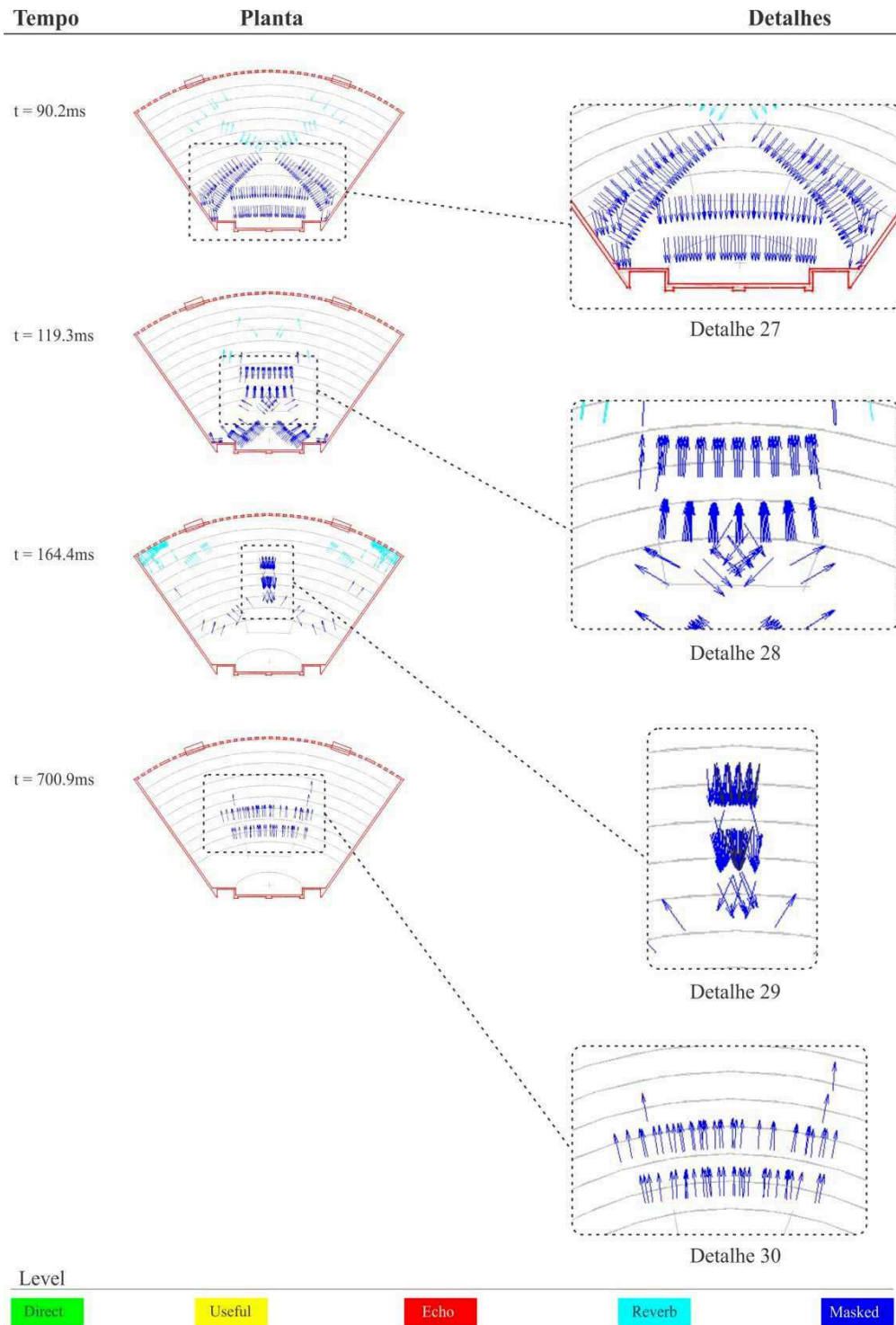


Figura 45 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano horizontal da sala PV4-03

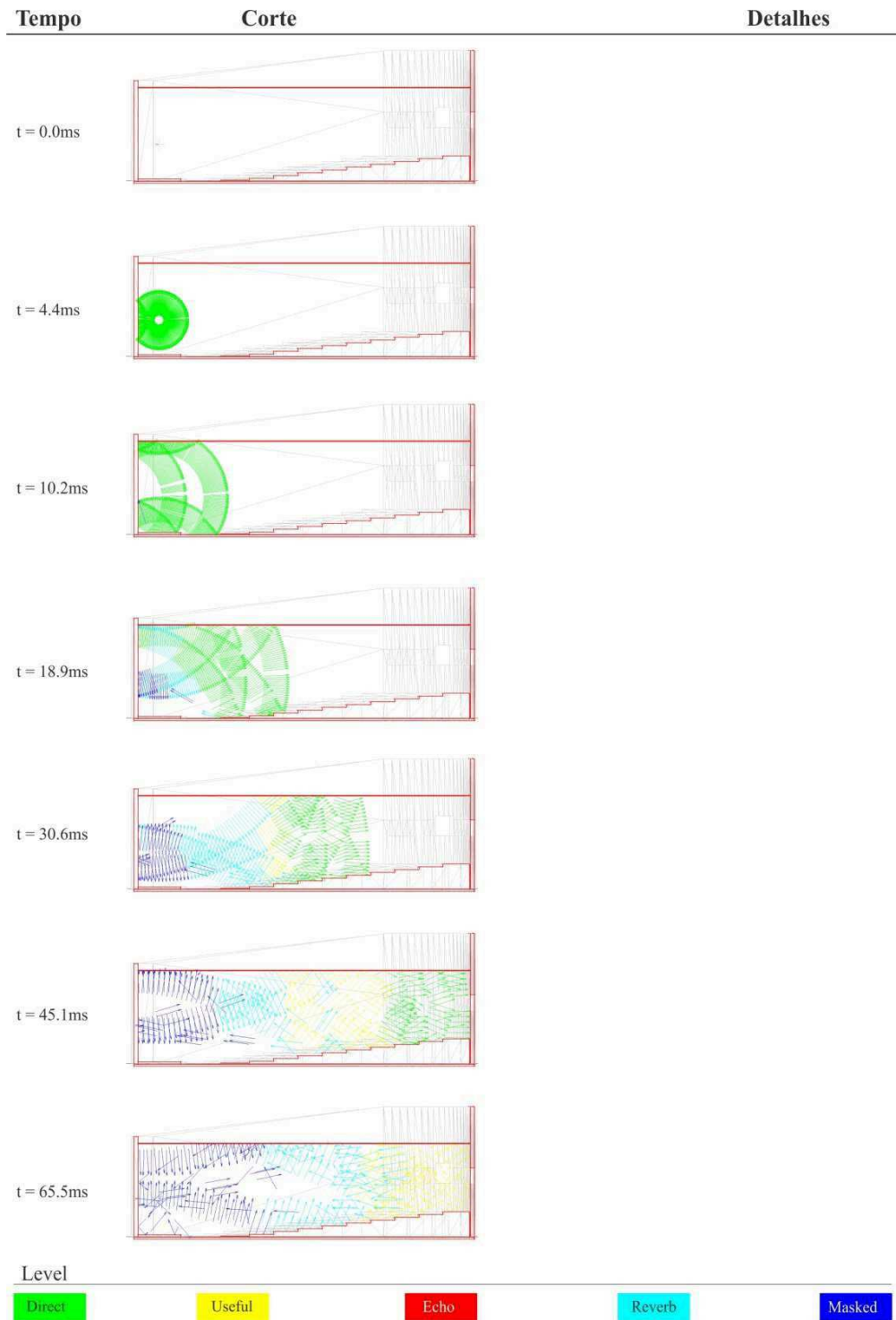


Figura 46 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano vertical da sala PV4-03

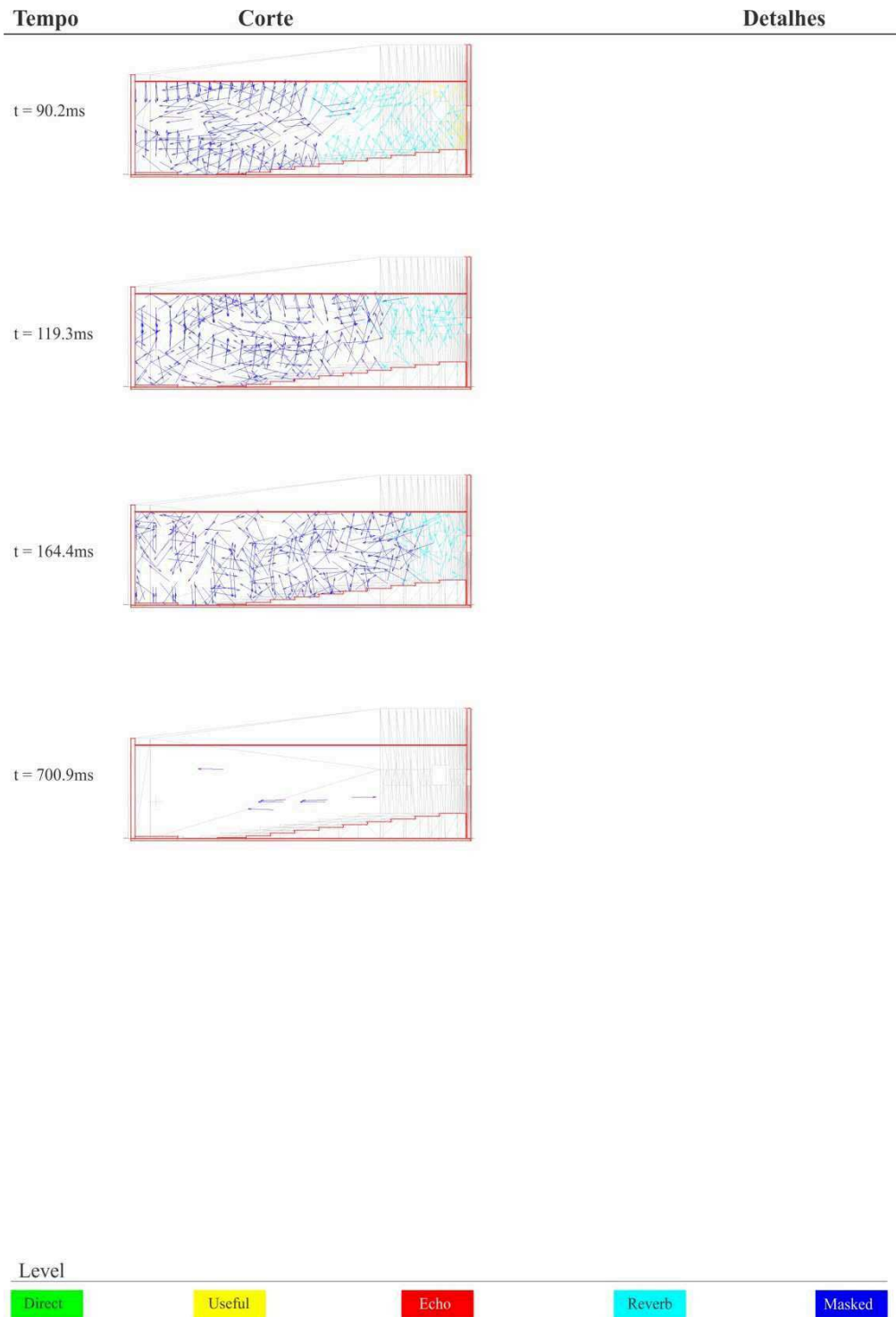


Figura 47 Sequência de imagens do comportamento sonoro no plano vertical da sala PV4-03

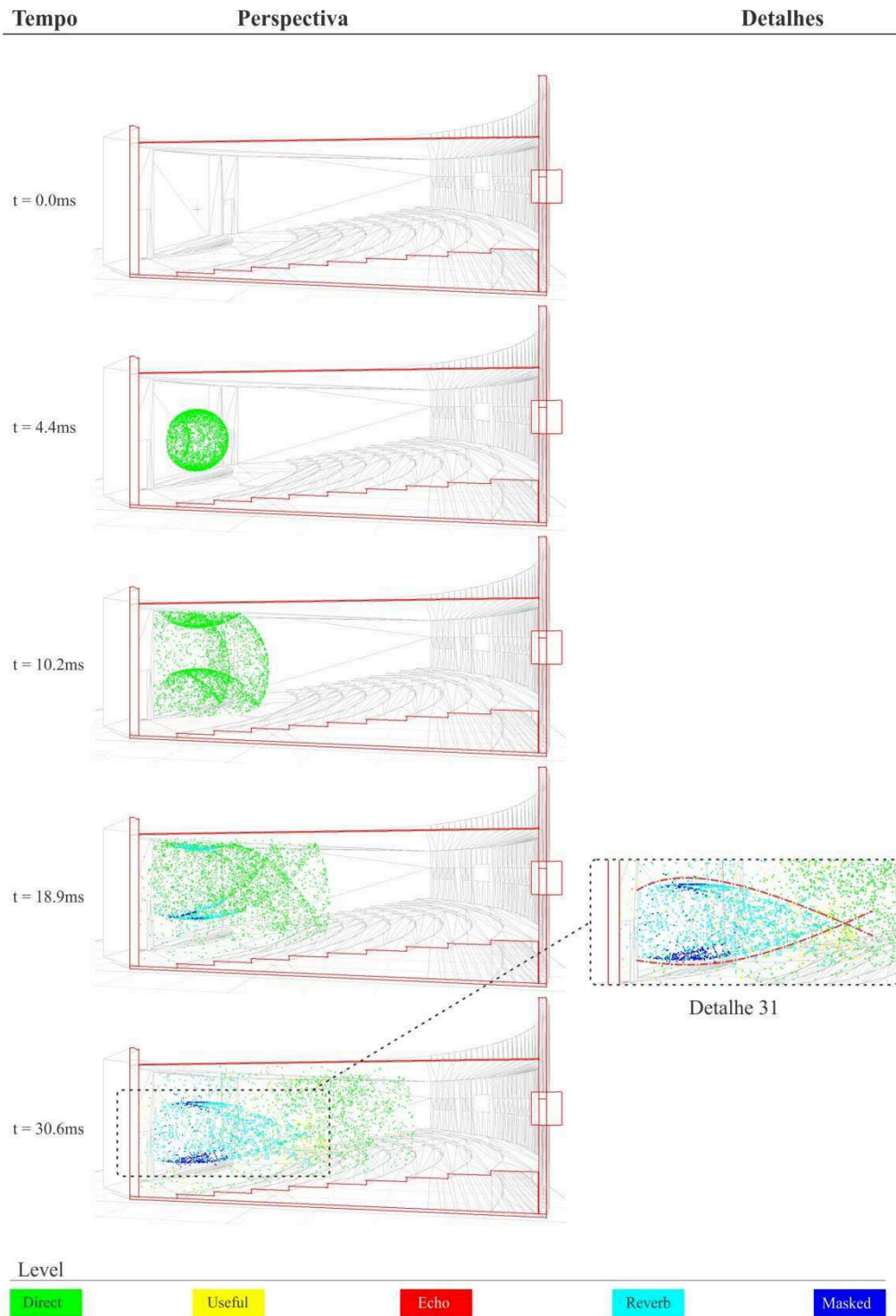


Figura 48 Sequência de imagens do comportamento sonoro em perspectiva da sala PV4-03



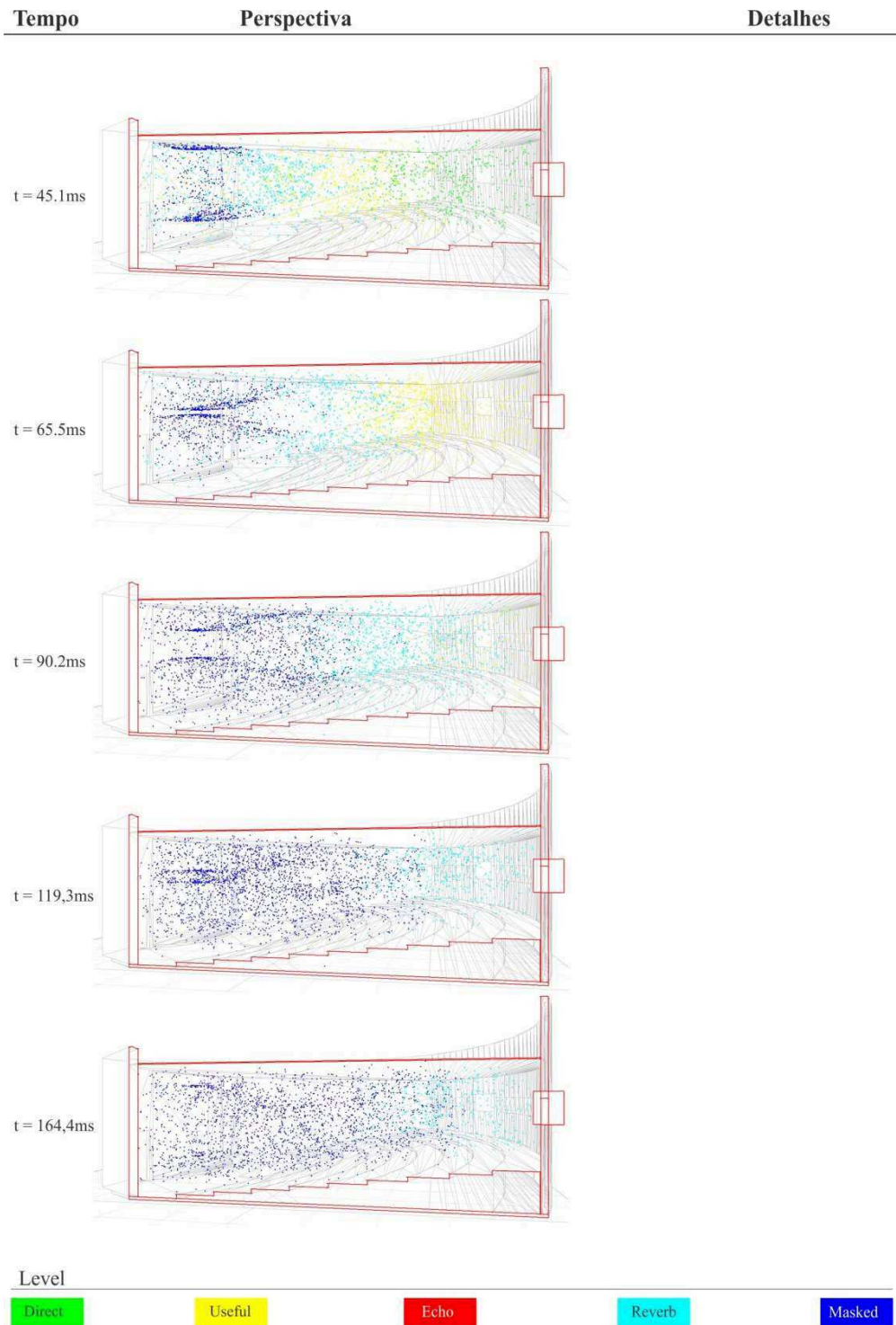


Figura 49 Sequência de imagens do comportamento sonoro em perspectiva da sala PV4-03

No detalhe 30 (Figura 45), é possível identificar que as reflexões criadas pela superfície curva e a superfície oposta tendem a conservar-se por um período maior do que as energias que percorrem caminhos mais extensos.

As imagens do plano vertical (Figura 46 e Figura 47) e as imagens em perspectiva (Figura 48 e Figura 49) demonstram um excesso de reflexões paralelas, porém é fundamental entender que a proposta da análise da geometria por meio do *software* ECOTECH da Autodesk® não considera seus materiais de acabamento, apenas a sua geometria. A aplicação de materiais com boa absorção acústica faz parte das soluções arquitetônicas para se evitar altas reverberações. Nesse caso, considerando que o forro possui boa absorção acústica, as reflexões tendem a ser atenuadas.

Sobre o padrão de reflexão, ao efetuar as análises verificou-se que por se tratar de um ambiente simétrico, os trajetos percorridos pelo traçado de raios tendem a ser os mesmos, criando duas regiões deficientes do ponto de vista da distribuição sonora, chamada de pontos “surdos” (A). Também foi possível constatar que, próximas às portas, existem duas regiões de sombra acústica (B), provocadas pelo recuo da parede da lousa em relação à porta (Figura 50).

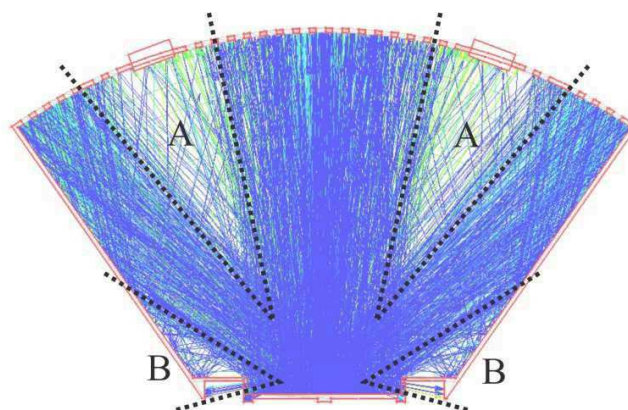


Figura 50 A: Pontos “surdos” B: sombras acústicas

Em relação à diretividade da voz humana e a largura da sala, segundo Hickman (2003), o som produzido pela voz humana tende a perder sua definição, à medida que o ângulo de propagação aumenta. Fora do ângulo de 140 graus, o espectador tende a ouvir somente as frequências mais graves (vogais), perdendo sua definição principalmente das consoantes das palavras. Conforme representado pela região verde (Figura 51), a sala possui largura limite para que o aluno sentado nos dois extremos do primeiro patamar consiga ouvir com clareza o que é pronunciado pelo palestrante.

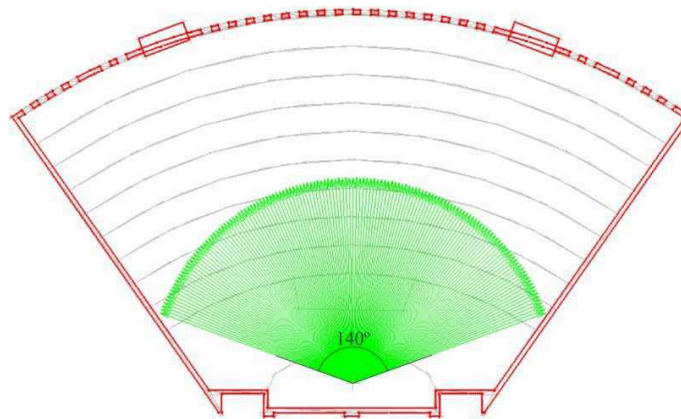


Figura 51 Diretividade da voz na sala PV4-3

O ultimo detalhe observado refere-se às janelas. Conforme ocorre no estudo de caso 2, nesse ambiente também existem janelas do tipo basculante que fazem divisa com os corredores de acesso ao saguão central. O efeito refletor produzido por essas janelas, direcionando os ruídos externos para dentro da sala, contribui para o incremento do ruído de fundo da sala (Figura 52).

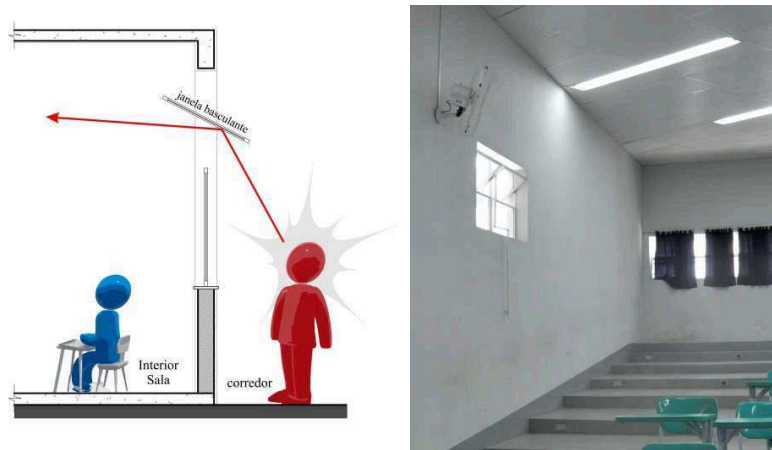


Figura 52 Simulação do efeito refletor e janela basculante da sala PV4-03

#### 4.4 Considerações finais

A avaliação multicritério permitiu ter uma visão abrangente do comportamento acústico dos ambientes sob os aspectos propostos. Na Tabela 8, demonstra-se, de forma compilada, esses resultados. No que diz respeito aos ruídos, foi possível constatar a influência dos aspectos térmicos nos resultados, quando houve a inversão nas condições, corroborando com Losso (2003), que diz que uma edificação eficiente do ponto de vista térmico pode ter desempenhos desastrosos do ponto de vista acústico, ou vice-versa. No caso desta pesquisa, os ruídos tiveram origens de fontes externas, além dos ventiladores e climatizadores. Sobre a relação S/R, constatou-se que, por estar diretamente ligada aos níveis do ruído, sofre influências das condições climáticas também.

Já, os valores de TR que se encontram acima dos recomendados, têm seu desempenho associado aos baixos índices de absorção dos revestimentos e ao excesso de paralelismo configurado pela geometria da sala. Em decorrência,

têm-se a redução da inteligibilidade, agravada pelos baixos índices da relação S/R.

Tabela 8 Resumo dos resultados dos diferentes parâmetros avaliados

AMBIENTE	RÚÍDO DE FUNDO dB(A)				RELAÇÃO S/R dB(A)	TR (s) 500Hz	GEOMETRIA	
	Condição 1		Condição 2				Proporção (Beranek)	M.M.A.G.
	Leq(A)	NPSmax	Leq(A)	NPSmax				
PV2-04	41,36	49,40	68,39	69,37	+7,69	1,46	Inadequada	Inadequada
PV3-02	42,02	47,90	57,05	59,37	+8,94	1,18	Inadequada	Inadequada
PV4-03	36,27	39,73	56,51	57,83	+7,70	0,83	-	Inadequada
Valores recomendados	≤ 50	-	≤ 50	-	≥ +15dB	0,80 / 0,82 / 0,99	Adequada	Adequada

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento da avaliação pós-ocupação, subsidiado por análises multicritérios, possibilitou investigar as patologias acústicas do ponto de vista de seus usuários e constatá-las por intermédio das análises técnicas.

Diante dos resultados, conclui-se que os ambientes avaliados não estão em conformidade com o que preconizam as normas e recomendações, e estão sujeitos a comprometimentos no processo de ensino-aprendizagem mediante aos altos níveis de ruído associados à baixa inteligibilidade.

Devem-se evitar reaproveitamentos aleatórios e soluções de racionalização extrema, que generalizam a utilização do espaço, transformando em adequação incompatível com sua implantação.

Ressalta-se a importância dos estudos e simulações, desde as fases preliminares de projeto, de forma a priorizar as características essenciais frente às suas inter-relações com os projetos complementares, preconizando soluções eficazes. Para tal, recomenda-se que a APO seja incorporada como parte indispensável na concepção de ambientes de ensino, transformando a prática projetual em um processo cíclico e evolutivo, retroalimentado por avaliações técnicas e impressões subjetivas, inerentes aos seus usuários.

## REFERÊNCIAS

- AIREY, S. The effects of classroom acoustics on school teachers. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NOISE CONTROL FOR EDUCATIONAL BUILDINGS, 16., 2000, Istanbul. **Proceedings...** Istanbul: Quiet Classrooms, 2000. p. 21-30.
- AIREY, S. A survey of acoustical standards in UK classrooms and their effect on pupils and teachers. **Proceedings Institute of Acoustics**, Red Hook, v. 20, p. 14-21, 1988.
- ALVES, L. P.; ARAÚJO, L. T. R.; XAVIER, J. A. N. Prevalência de queixas vocais e estudos de fatores associados em uma amostra de professores do ensino fundamental em Maceió, Alagoas, Brasil. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, São Paulo, v. 35, n. 121, p. 168-175, 2010.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI/ASA S12.60-2009/part 2**: acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools, part 2: relocatable classroom factors. Washington, 2014a. 19 p.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI/ASA S12.60-2010/part 1**: American National Standard Acoustical Performance Criteria, design requirements, and guidelines for schools, part 1: permanent schools. Washington, 2014b. 28 p.
- AMERICAN SPEECH-LANGUAGE-HEARING ASSOCIATION. **Acoustics in educational settings**: position statement. Rockville, 2005. Disponível em: <<http://www.asha.org/policy>>. Acesso em: 1 set. 2014.
- AMORIM, A. E. B. **Formas geométricas e qualidade acústica de salas de aula**: estudo de caso em Campinas, SP. 2007. 241 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- ARAÚJO, A. M. P. de; SANTANA, A. L. A.; RIBEIRO, E. M. S. Fatores que afetam o processo de ensino no curso de ciências contábeis: um estudo baseado na percepção dos professores. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO

NACIONAL DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS CONTÁBEIS, 3., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANPCONT, 2009. p. 1-16.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151:** acústica: avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade: procedimento. Rio de Janeiro, 2000. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152:** níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179:** tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:** edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013. 36 p.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Handbook:** HVAC applications. Atlanta, 1980. 12 p.

BERANEK, L. L. **Music, acoustics & architecture.** Cambridge: Wiley, 1962. 592 p.

BERANEK, L. L. **Noise reduction.** New York: McGraw-Hill, 1960. 752 p.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído.** São Paulo: E. Bluncher, 2006. 384 p.

BISTAFA, S. R.; BRADLEY, J. S. Predicting reverberation times in a simulated classroom. **The Journal of the Acoustical Society of America**, Melville, v. 108, n. 4, p. 1721-1731, Oct. 2000.

BOLT, R. H. Note on the normal frequency statistics in rectangular rooms. **Journal of the Acoustical Society of America**, Melville, v. 18, p. 130-133, 1946.



BRADLEY, J. S. Optimising sound quality for classrooms optimising sound quality for classrooms. In: MEETING OF SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 20., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: NRCC, 2002. p. 1-15.

BRADLEY, J. S. Speech intelligibility in classrooms. **Journal of the Acoustical Society of America**, Melville, v. 80, n. 3, p. 846-854, 1986.

BRUEL; KJAER. **Measurements in building acoustics**. Disponível em: <<http://www.bk.dk>>. Acesso em: 24 out. 2003.

CARVALHO, R. **Acústica arquitetônica**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 240 p.

CHRISTAKOU, E. D. **A simulação computacional da luz natural aplicada ao projeto de arquitetura**. 2004. 134 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

CLÍMACO, R. S.; TAVARES, M. E. Acústica arquitetônica de Igrejas Católicas: estudo de caso: Igrejas de Brasília. **Revista da Sociedade Brasileira de Acústica**, Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT12032009180958.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

COOPER, J. **Building a recording studio**. 5th ed. Calabasas: Synergy Group, 1996. 209 p.

DE YOUNG, R. Environmental psychology. In: ALEXANDER, D. E.; FAIRBRIDGE, R. W. (Ed.). **Encyclopedia of environmental science**. Hingham: Kluwer Academic, 1999. Disponível em: <<http://www-personal.umich.edu/%7Erdeyoung/envtpsych.html>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

DEL RIO, V.; RHEINGANTZ, P. A.; ORNSTEIN, S. W. (Coord.). **Clínica São Vicente: considerações sobre sua arquitetura**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1998. 25 p. (Cadernos do PROARQ, 5).

DOCKRELL, J. E.; SHIELD, B. Children's perceptions of their acoustic environment at school and at home. **Journal of the Acoustical Society of America**, Melville, v. 115, n. 6, p. 2964-2973, 2004.

DREOSSI, R. C. F.; MOMENSOHN-SANTOS, T. O ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura. **Pró-Fono Revista de Atualização Científica**, Barueri, v. 17, n. 2, p. 251-258, maio/ago. 2005.

ENMARKER, I.; BOMAN, E. Noise annoyance responses of middle school pupils and teachers. **Journal of Environmental Psychology**, New York, v. 24, n. 4, p. 527-536, Dec. 2004.

FASOLD, W.; VERES, E. **Schallschutz und raumakustik in der praxis: planungsbeispiele und konstruktive lösungen**. Huss-Medien GmbH: Verlag Bauwesen, 2003. 378 p.

FERNANDES, A. G. **Impacto de ruído de tráfego em edificações escolares: metodologia de avaliação para diretrizes de planejamento urbano**. 2002. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FERNANDES, J. C. Padronização das condições acústicas para salas de aula. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2006. Disponível em: <[http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais\\_13/artigos/823.pdf](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/823.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2014.

FERREIRA, A. M. C. **Avaliação do conforto acústico em salas de aula: estudo de caso na Universidade Federal do Paraná**. 2006. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

FRANÇA, A. J. G. L.; ORNSTEIN, W. S.; ONO, R. Mapas de diagnóstico: procedimentos de Avaliação Pós-Ocupação (APO) voltados à qualidade de projeto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2.; WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 10., 2011, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBQP, 2011. p. 297-307.

GIBBS, B. Acoustic confort by architectural design. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1.; SIMPÓSIO DE METROLOGIA E NORMALIZAÇÃO EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES DO MERCOSUL, 1.; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 18., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. 1 CD-ROM.

GIFFORD, R. **Environmental psychology: principles and practice**. Boston: Allyn and Bacon, 1997. 504 p.

GINDRI, G.; KESKE-SOARES, M.; MOTA, H. B. Memória de trabalho, consciência fonológica e hipótese de escrita. **Pró-Fono**, Barueri, v. 19, n. 3, p. 313-322, jul./set. 2007.

GOMES, M. H. A.; BERTOLI, S. R.; DEDECCA, J. G. Implementação de métodos para a simulação acústica e auralização de salas. **Revista Acústica & Vibrações**, Santa Maria, n. 38, 2007. Disponível em: <<http://acustica.org.br/revistas2/>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

HARRIS, C. M. **Handbook of acoustical measurements and noise control**. 3<sup>rd</sup> ed. Melville: Acoustical Society of America, 1998. 1024 p.

HICKMAN, T. **Acoustic design of schools**. London: Crown, 2003. 90 p.

HOHMANN, R.; SETZER, M. J.; WEHLING, M. **Bauphysikalische Formeln und Tabellen**. 4th ed. Berlin: W. Verlag, 2004. 430 p.

HUANG, L. et al. A study on the effects of thermal, luminous, and acoustic environments on indoor environmental confort in offices. **Buildings and Environment**, New York, v. 49, p. 304-309, Mar. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010: resultados gerais da amostra**. Rio de Janeiro, 2012.

Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000008473104122012315727483985.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS  
ANÍSIO TEIXEIRA. **Matriculas no ensino superior crescem 3,8%**.  
Disponível em: <[http://portal.inep.gov.br/visualizar/-/asset\\_publisher/6AhJ/content/matriculas-no-ensino-superior-crescem-3-8](http://portal.inep.gov.br/visualizar/-/asset_publisher/6AhJ/content/matriculas-no-ensino-superior-crescem-3-8)>.  
Acesso em: 10 out. 2014.

ISBERT, A. C. **Diseño acústico de espacios arquitectónicos**. Barcelona: UPC, 1998. 420 p.

JOHNSON, L. et al. **NMC horizon report**: 2014 higher education edition. Austin: The New Media Consortium, 2014. Disponível em: <<http://redarchive.nmc.org/publications/2014-horizon-report-higher-ed>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

KARABIBER, Z.; VALLET, M. Classroom acoustics policies: an overview. In: INTERNATIONAL EURONOISE NAPLES, 5., 2003, Naples. **Proceedings...** Naples: EURONOISE, 2003. p. 6.

KNUDSEN, V.; HARRIS, C. **Acoustical design in architecture**. Melville: Acoustical Society of America, 1988. 408 p.

KUTTRUFF, H. **Room acoustics**. London: CRC, 2000. 392 p.

KOPEC, D. **Environmental psychology for design**. New York: Fairchild, 2006. 384 p.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar**: o projeto do ambiente de ensino. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 272 p.

LANG, J. T. **Designing for human behavior**: architecture and the behavioral sciences. Columbia: Dowden, Hutchinson & Ross, 1987. 353 p.

LORO, C. L. P. **Avaliação acústica de salas de aula**: padrão 023, do Estado do Paraná: estudo de caso. 2003. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

LOSSO, M. A. **Qualidade acústica de edificações em Santa Catarina:** avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação. 2003. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MACHADO, E. S. **Relação entre ambientes externos e internos em centros de reabilitação motora:** um estudo na Associação de Assistência à Criança Deficiente de Nova Iguaçu, RJ. 2012. 217 p. Tese (Doutorado em Ciências da Arquitetura) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MAKRINENKO, L. I. **Acoustics of auditoriums in public buildings.** Melville: Acoustical Society of America, 1994. 172 p.

MARCO, C. S. de. **Elementos de acústica arquitetônica.** São Paulo: Nobel, 1990. 129 p.

MATTISKE, J. A.; OATES, J. M.; GREENWOOD, K. M. Vocal problems among teachers: a review of prevalence, causes, prevention, and treatment. **Journal of Voice**, New York, v. 12, n. 4, p. 489-499, 1998.

MOURA, N. C. de. **Avaliação do desempenho acústico do bloco de salas do curso de medicina no campus da UFOP.** 2011. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

NEPOMUCENO, L. de A. **Elementos de acústica e psicoacústica.** São Paulo: E. Blücher, 1994. 106 p.

NOGUEIRA, H.; GOMES, C. A. Os estilos de aprendizagem adotados pelos estudantes de ciências contábeis da FEAAC/UFC: uma avaliação com base no modelo VAC. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO DA UFPI, 6., 2010, Teresina. **Anais...** Teresina: UFPI, 2010. 1 CD-ROM.

OGASAWARA, A. P. **Avaliação acústica de oito salas destinadas a apresentações teatrais da cidade de Campinas, SP, através da técnica.** 2006. 230 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

OKIMOTO, M. L.; FERREIRA, A.; ZANNIN, P. H. Percepção do ruído de fundo em salas de aula. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ERGONOMIA E USABILIDADE DE INTERFACES HUMANO-TECNOLOGIA, 5., 2005, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2005. p. 1-5.

OLSEN, W. O. Average speech levels and spectra in various speaking/listening conditions: a summary of the Pearson, Bennett, & Fidell (1977) report. **American Journal of Audiology**, Reston, v. 7, n. 7, p. 21-25, 1998.

ORNTEIN, S. W.; BRUNA, G.; ROMÉRO, M. **Ambiente construído & comportamento**: a avaliação pós-ocupação e a qualidade ambiental. São Paulo: Nobel, 1995. 212 p.

PEREIRA, L. C. A.; SOEIRO, N. S.; MELO, G. V. **Análise acústica de um auditório pelo método da acústica de raios**: uma comparação entre os softwares Raynoise e Odeon. In: WORKSHOP DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA DA REGIÃO NORTE, 1., 2011, Tucuruí. **Anais...** Tucuruí: GVA, 2011. p. 1-7.

PICARD, M.; BRADLEY, J. Revisiting speech interference in classrooms. **Audiology**, New York, v. 40, n. 5, p. 221-244, Sept./Oct. 2001.

PIERRARD, J. F.; AKKERMAN, D. **Manual proacústica**. São Paulo: Pró-Acústica, 2013. 31 p.

QUARTIERI, J. et al. Room acoustics experimental study: characterization of the sound quality in a new built church. In: WSEAS INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS & MUSIC: THEORY & APPLICATIONS, 10., 2009, Salerno. **Proceedings...** Salerno: WSEAS, 2009. p. 108-115.

RHEINGANTZ, P. A.; AZEVEDO, G. A. N. **Avaliação de desempenho**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004. (Texto Didático).

RHEINGANTZ, P. A. et al. **Observando a qualidade do lugar**: procedimentos para a avaliação pós-ocupação. Rio de Janeiro: PROARQ, 2009. 119 p.

RODRIGUES, H. da S. **Cognição e experiência no ambiente de trabalho:** abordagem da observação incorporada na avaliação pós-ocupação: estudo de caso no centro de pesquisa da Fundação Casa de Rui Barbosa. 2005. 98 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

RODRIGUES, H. da S.; CASTRO, J. A. de; RHEINGANTZ, P. A. Matriz de descobertas: uma ferramenta para avaliação pós-ocupação. In: SEMINÁRIO DO NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DA ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FAUUSP, 2004. 1 CD-ROM.

ROMÉRO, M. de A.; ORNSTEIN, S. W. **Avaliação pós-ocupação:** métodos e técnicas aplicados à habitação social. Porto Alegre: Habitare, 2003. 294 p.

SALES, U. C. **Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação.** 2001. 249 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001.

SALVADOR, E. V. **Percepção arquitetônica do espaço de trabalho pela comunidade universitária. Estudo de caso da UFSCar, Campus São Carlos.** 2011. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

SANOFF, H. **Creating environments for young children.** Mansfield: BookMasters, 1995. 166 p.

SANTOS, R. de L. S. dos. **Análise da influência de parâmetros acústicos na inteligibilidade da fala:** um estudo em salas de aula de escolas municipais de João Pessoa. 2012. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

SEEP, B. et al. Acústica de salas de aula. **Revista de Acústica e Vibrações,** Santa Maria, n. 29, p. 2-22, jul. 2002.

SEEP, B. et al. **Classroom acoustics**: a resource for creating learning environments with desirable listening conditions. Melville: Acoustical Society of America, 2000. Disponível em: <[http://acousticalsociety.org/about\\_acoustics/acoustics\\_of\\_classrooms](http://acousticalsociety.org/about_acoustics/acoustics_of_classrooms)>. Acesso em: 10 nov. 2014.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 4. ed. Belo Horizonte: Edital, 2002. 397 p.

SILVA, R. S. N. da. **Inteligibilidade da palavra falada em salas destinadas a comunicação verbal**. 1983. 230 p. Dissertação (Mestrado em Acústica de Edifícios) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1983.

SIMÕES, F. M. **Acústica arquitetônica**: eficiência energética em edificações. Rio de Janeiro: PROCEL Edifica, 2011. 120 p.

SLAMA, J.; NIEMEYER, M. Estratégias para elaboração de uma legislação para o controle de ruído urbano em região de clima tropical úmido. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1.; SIMPÓSIO DEMETROLOGIA E NORMALIZAÇÃO EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES DO MERCOSUL, 1.; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 18., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 499-502.

SUH, N. P. Axiomatic design theory for systems. **Research in Engineering Design**, London, v. 10, n. 4, p. 189-209, Dec. 1998.

TEIXEIRA, T. L. e A. **APAE - Valença**: a arquitetura da sensibilidade. 2005. 102 p. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2005.

TORO, M. G. U. **Avaliação acústica de salas de aula em escolas públicas na cidade de Belém, PA**. 2005. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

TÔRRES, M. H. C. **Simulação acústica no ambiente AcMus área de concentração**: ciência da computação simulação acústica no ambiente AcMus.



2008. 66 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

UTAMI, S. S. **Characterizing the audibility of sound field with diffusion in architectural spaces**. 2012. 204 p. Thesis (Doctor in Architecture) - University of Michigan, Michigan, 2012.

VALLE, S. do. **Planilha de cálculo de tempo de reverberação**. Disponível em:  
<<http://www.musitec.com.br/downloads/getFile.asp?codArea=1&codFile=4>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

VALLET, M. Some European standards on noise in educational buildings. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NOISE CONTROL FOR EDUCATIONAL BUILDINGS, 29., 2000, Nice. **Proceedings...** Nice: Internoise, 2000. p. 13-20.

VARELA, F. J.; THOMPSON, E.; ROSCH, E. **A mente incorporada: ciências cognitivas e experiência humana**. Porto Alegre: Artmed, 2003. 294 p.

VIVEIROS, E. et al. Impacto de ruído de tráfego em edificações: uma metodologia de avaliação para o planejamento urbano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, 2., 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SIBRAMA, 2002. 1 CD-ROM.

VOORDT, T. J. M. van der; WEGEN, H. B. R. van. **Architecture in use: an introduction to the programming, design and evaluation of buildings**. Bussum: Elsevier, 2005. 326 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Noise in schools**. Geneva, 2001. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

ZANNIN, P. H. T. **Poluição sonora: ruído urbano, ruído industrial**. Curitiba: UFPR, 2002. 124 p.

ZANNIN, P. H. et al. Comparação entre tempos de reverberação calculados e medidos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 75-85, out./dez. 2005.

ZWIRTES, D. P. Z. **Avaliação do desempenho acústico de salas de aula:** estudo de caso nas escolas estaduais do Paraná. 2006. 161 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

**APÊNDICE A - Entrevista semiestruturada (*Walkthrough*)**

- 1- Como são efetuadas as marcações das aulas nos Pavilhões?
- 2- Existe algum registro sobre o numero de reservas mensais por salas de aula?
- 3- Existe alguma preferência por determinadas salas de aula? Se sim, quais seriam os supostos motivos?
- 4- Existem salas com baixa procura por causa de problemas acústicos? Quais?
- 5- Vocês recebem reclamações sobre as salas de aula? Que tipo de reclamação e sobre quais salas?
- 6- Vocês já receberam reclamação de ruídos externos às salas de aula? Se sim, qual a origem dos ruídos?
- 7- Quais são as salas mais críticas do ponto de vista do ruído externo?
- 8- Quais são as salas mais críticas do ponto de vista do condicionamento acústico?
- 9- Quais as salas possuem ventiladores?
- 10- Existe algum equipamento nas salas de aula ou próximo a elas que geram ruído?
- 11- Os alunos e professores reclamam que ouvem alunos da sala ao lado?

**APÊNDICE B – Modelo de Questionário Aplicado ao Professor**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS**  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

O questionário abaixo é parte de uma pesquisa de Mestrado do Departamento de Engenharia, em que está sendo estudado o conforto acústico das salas de aula da UFLA do ponto de vista dos alunos e professores. Com este trabalho, pretende-se elaborar recomendações para subsidiar projetos futuros.

**SOBRE A ACÚSTICA, COMO VOCÊ AVALIA ESTA SALA?**  
(assinale com um X sobre a escala numérica)

1- Você considera que esta é uma sala silenciosa ou “barulhenta”?

“Barulhenta”	-3	-2	-1	+1	+2	+3	Silenciosa
--------------	----	----	----	----	----	----	------------

2- Você ouve com clareza tudo que é dito pelos alunos ou o som parece “embaralhado”?

Não entendo nada	-3	-2	-1	+1	+2	+3	Entendo tudo perfeitamente
------------------	----	----	----	----	----	----	----------------------------

3- Com o ventilador (ou climatizador) ligado, qual é o nível de dificuldade para lecionar?

Muito difícil	-3	-2	-1	+1	+2	+3	Muito fácil
---------------	----	----	----	----	----	----	-------------

4- Em relação à quantidade e intensidade dos ruídos de origem externa, como você classifica?

Desconfortável	-3	-2	-1	+1	+2	+3	Confortável
----------------	----	----	----	----	----	----	-------------

5- Com que frequência é necessário fechar a porta e as janelas para obter uma boa audição?

Sempre	-3	-2	-1	+1	+2	+3	Nunca
--------	----	----	----	----	----	----	-------

6- Com que frequência é necessário aumentar o “tom” da voz para lecionar?

Sempre	-3	-2	-1	+1	+2	+3	Nunca
--------	----	----	----	----	----	----	-------

6

7- Você tem ou já teve problemas vocais em função do uso da voz para lecionar?

<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
------------------------------	------------------------------

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

8- O “barulho” que você ouve vem de onde?

<input type="checkbox"/> Alunos de outra sala	<input type="checkbox"/> Professor de outra sala	<input type="checkbox"/> Conversa e movimentação no corredor	<input type="checkbox"/> Automóveis, motos, etc.)
---	--	--	---

Outros \_\_\_\_\_

Professor

Nº da Sala em avaliação:

**APÊNDICE C – Modelo de Questionário Aplicado ao Aluno**



O questionário abaixo é parte de uma pesquisa de Mestrado do Departamento de Engenharia, em que está sendo estudado o conforto acústico das salas de aula da UFLA do ponto de vista dos alunos e professores. Com este trabalho, pretende-se elaborar recomendações para subsidiar projetos futuros.

**SOBRE A ACÚSTICA, COMO VOCÊ AVALIA ESTA SALA?**  
(assinale com um X sobre a escala numérica)

1- Você considera que esta é uma sala silenciosa ou “barulhenta”?

“Barulhenta”	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">-3</td> <td style="padding: 2px 5px;">-2</td> <td style="padding: 2px 5px;">-1</td> <td style="padding: 2px 5px;">+1</td> <td style="padding: 2px 5px;">+2</td> <td style="padding: 2px 5px;">+3</td> </tr> </table>	-3	-2	-1	+1	+2	+3	Silenciosa
-3	-2	-1	+1	+2	+3			

2- Você ouve com clareza tudo que é dito pelo professor ou o som parece “embaralhado”?

Não entendo nada	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">-3</td> <td style="padding: 2px 5px;">-2</td> <td style="padding: 2px 5px;">-1</td> <td style="padding: 2px 5px;">+1</td> <td style="padding: 2px 5px;">+2</td> <td style="padding: 2px 5px;">+3</td> </tr> </table>	-3	-2	-1	+1	+2	+3	Entendo tudo perfeitamente
-3	-2	-1	+1	+2	+3			

3- Com o ventilador (ou climatizador) ligado, como você ouve o que é falado pelo professor?

Não entendo nada	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">-3</td> <td style="padding: 2px 5px;">-2</td> <td style="padding: 2px 5px;">-1</td> <td style="padding: 2px 5px;">+1</td> <td style="padding: 2px 5px;">+2</td> <td style="padding: 2px 5px;">+3</td> </tr> </table>	-3	-2	-1	+1	+2	+3	Entendo tudo perfeitamente
-3	-2	-1	+1	+2	+3			

4- Em relação à quantidade e intensidade dos ruídos de origem externa, como você classifica?

Desconfortável	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">-3</td> <td style="padding: 2px 5px;">-2</td> <td style="padding: 2px 5px;">-1</td> <td style="padding: 2px 5px;">+1</td> <td style="padding: 2px 5px;">+2</td> <td style="padding: 2px 5px;">+3</td> </tr> </table>	-3	-2	-1	+1	+2	+3	Confortável
-3	-2	-1	+1	+2	+3			

5- Com que frequência é necessário fechar a porta e as janelas para obter uma boa audição?

Sempre	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px 5px;">-3</td> <td style="padding: 2px 5px;">-2</td> <td style="padding: 2px 5px;">-1</td> <td style="padding: 2px 5px;">+1</td> <td style="padding: 2px 5px;">+2</td> <td style="padding: 2px 5px;">+3</td> </tr> </table>	-3	-2	-1	+1	+2	+3	Nunca
-3	-2	-1	+1	+2	+3			

6- Você tem algum problema auditivo?

<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
------------------------------	------------------------------

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

7- Você acha que tem algum lugar na sala que seja muito ou mais “barulhento”?

<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não
------------------------------	------------------------------

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

8- O “barulho” que você ouve vem de onde?

<input type="checkbox"/> Alunos de outra sala	<input type="checkbox"/> Professor de outra sala	<input type="checkbox"/> Conversa e movimentação no corredor	<input type="checkbox"/> Automóveis, motos, etc.)
---	--	--	---

Outros \_\_\_\_\_

**APÊNDICE D – Respostas dos Questionários Aplicado aos Alunos e Professores**



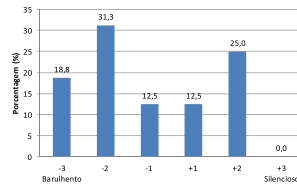
PV2-04

QUESTIONÁRIO PROFESSORES

PV2-04 QUESTIONÁRIO PROFESSORES

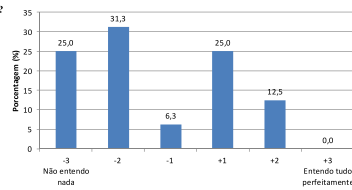
1- Você considera que esta é uma sala silenciosa ou "barulhenta"?

Resposta	%	Nº de respostas	
-3	18,8	3	63%
-2	31,3	5	
-1	12,5	2	
+1	12,5	2	
+2	25,0	4	
+3	0,0	0	38%
16			



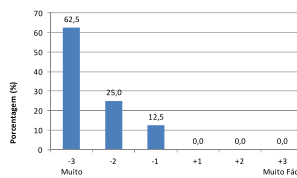
2- Você ouve com clareza tudo que é dito pelos alunos ou o som parece "embaralhado"?

Resposta	%	Nº de respostas	
-3	25,0	4	63%
-2	31,3	5	
-1	6,3	1	
+1	25,0	4	
+2	12,5	2	
+3	0,0	0	38%
16			



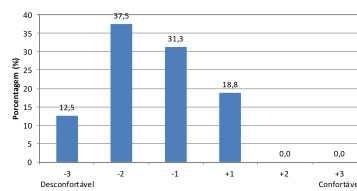
3- Com o ventilador (ou climatizador) ligado, qual é o nível de dificuldade para lecionar?

Resposta	%	Nº de respostas	
-3	62,5	10	100%
-2	25,0	4	
-1	12,5	2	
+1	0,0	0	
+2	0,0	0	
+3	0,0	0	0%
16			



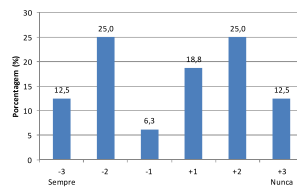
4- Em relação à quantidade e intensidade dos ruídos de origem externa, como você clas

Resposta	%	Nº de respostas	
-3	12,5	2	81%
-2	37,5	6	
-1	31,3	5	
+1	18,8	3	
+2	0,0	0	
+3	0,0	0	19%
16			



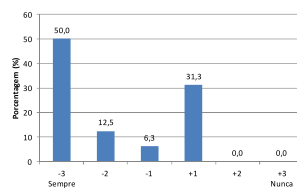
5- Com que frequência é necessário fechar a porta e as janelas para obter uma boa audi

Resposta	%	Nº de respostas	
-3	12,5	2	44%
-2	25,0	4	
-1	6,3	1	
+1	18,8	3	
+2	25,0	4	
+3	12,5	2	56%
16			



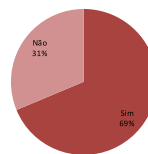
6- Com que frequência é necessário aumentar o "tom" da voz para lecionar?

Resposta	%	Nº de respostas	
-3	50,0	8	69%
-2	12,5	2	
-1	6,3	1	
+1	31,3	5	
+2	0,0	0	
+3	0,0	0	31%
16			



7- Você tem ou já teve problemas vocais em função do uso da voz para lecionar

Resposta	%	Nº de respostas	
Sim	68,8	11	69%
Não	31,3	5	
16			

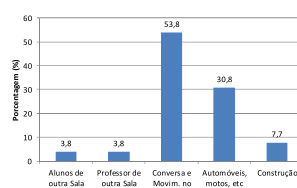


Qual?

Qual?	%	Nº de respostas
Dis faria (Rouquidão)	66,7	10
Alfinia (Perda da voz)	13,3	2
Cansaço das cordas vocais	6,7	1
Dor na garganta	6,7	1
Inflamação das cordas vocais	6,7	1
15		

8- O "barulho" que você ouve vem de onde?

Resposta	Nº de respostas
Alunos de outra Sala	3,8
Professor de outra Sala	3,8
Conversa e Movim. no corredor	53,8
Automóveis, motos, etc	30,8
Construção	7,7
26	

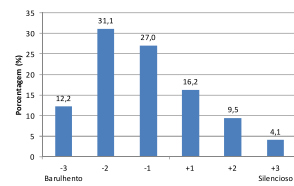


PV2-04 QUESTIONÁRIO ALUNOS

1- Você considera que esta é uma sala silenciosa ou "barulhenta"?

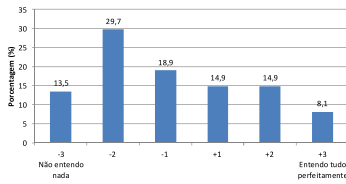
Resposta	%	Nº de respostas
-3	12,2	9
-2	31,1	23
-1	27,0	20
+1	16,2	12
+2	9,5	7
+3	4,1	3
74		

PV2-04 QUESTIONÁRIO ALUNOS



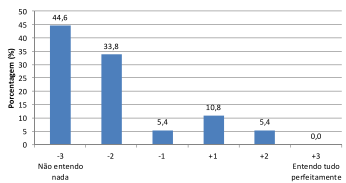
2- Você ouve com clareza tudo que é dito pelo professor ou o som parece "embaralhado"?

Resposta	%	Nº de respostas
-3	13,5	10
-2	29,7	22
-1	18,9	14
+1	14,9	11
+2	14,9	11
+3	8,1	6
74		



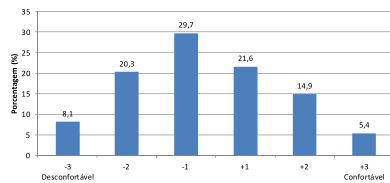
3- Com o ventilador (ou climatizador) ligado, como você ouve o que é falado pelo professor?

Resposta	%	Nº de respostas
-3	44,6	33
-2	33,8	25
-1	5,4	4
+1	10,8	8
+2	5,4	4
+3	0,0	0
74		



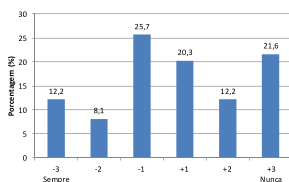
4- Em relação à quantidade e intensidade dos ruídos de origem externa, como você classifi

Resposta	%	Nº de respostas
-3	8,1	6
-2	20,3	15
-1	29,7	22
+1	21,6	16
+2	14,9	11
+3	5,4	4
74		



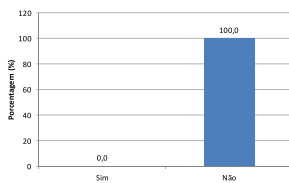
5- Com que frequência é necessário fechar a porta e as janelas para obter uma boa audição?

Resposta	%	Nº de respostas
-3	12,2	9
-2	8,1	6
-1	25,7	19
+1	20,3	15
+2	12,2	9
+3	21,6	16
74		



6- Você tem algum problema auditivo?

Resposta	%	Nº de respostas
Sim	0,0	0
Não	100,0	74
74		

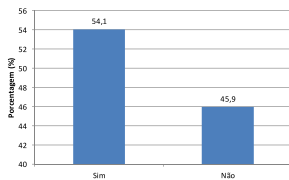


7- Você acha que tem algum lugar na sala que seja muito ou mais "barulhento"?

Resposta	Nº de respostas
Sim	40
Não	34
74	

Onde?	%	Nº de respostas
Próximo a porta e janela	58,1	25
Próximo aos vent. da frente	41,9	18
43		

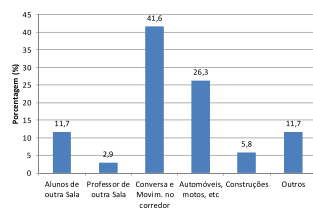


8- O "barulho" que você ouve vem de onde?

Resposta	Nº de respostas
Alunos de outra Sala	16
Professor de outra Sala	4
Tráfego e Movimento no corredor	57
Automóveis, motos, etc	36
Construções	8
Outros	16
137	

Outros	%	Nº de respostas
Ventiladores	63,6	7
A sala tem acústica boa	9,1	1
Teve	18,2	2
Restaurante Universitário	9,1	1
11		



PV3-02

QUESTIONÁRIO PROFESSORES

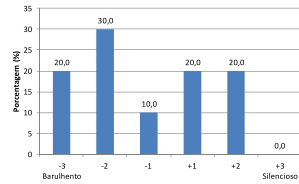
PV3-02 QUESTIONÁRIO PROFESSORES

1- Você considera que esta é uma sala silenciosa ou "barulhenta"?

Resposta	%	Nº de respostas
-3	20,0	2
-2	30,0	3
-1	10,0	1
+1	20,0	2
+2	20,0	2
+3	0,0	0
10		

60%

40%

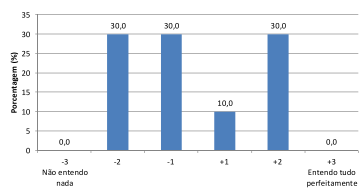


2- Você ouve com clareza tudo que é dito pelos alunos ou o som parece "embaralhado"?

Resposta	%	Nº de respostas
-3	0,0	0
-2	30,0	3
-1	30,0	3
+1	10,0	1
+2	30,0	3
+3	0,0	0
10		

60%

40%

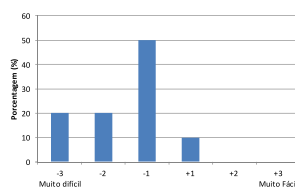


3- Com o ventilador (ou climatizador) ligado, qual é o nível de dificuldade para lecionar?

Resposta	%	Nº de respostas
-3	20,0	2
-2	20,0	2
-1	50,0	5
+1	10,0	1
+2	0,0	0
+3	0,0	0
10		

90%

10%

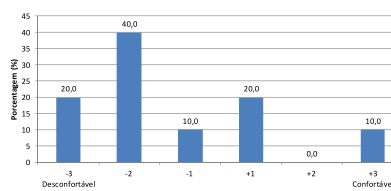


4- Em relação à quantidade e intensidade dos ruídos de origem externa, como você classifi

Resposta	%	Nº de respostas
-3	20,0	2
-2	40,0	4
-1	50,0	5
+1	20,0	2
+2	0,0	0
+3	10,0	1
10		

70%

30%

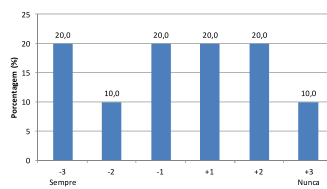


5- Com que frequência é necessário fechar a porta e as janelas para obter uma boa audição

Resposta	%	Nº de respostas
-3	20,0	2
-2	10,0	1
-1	20,0	2
+1	20,0	2
+2	20,0	2
+3	10,0	1
10		

50%

50%

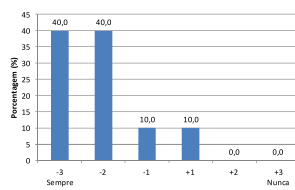


6- Com que frequência é necessário aumentar o "tom" da voz para lecionar?

Resposta	%	Nº de respostas
-3	40,0	4
-2	40,0	4
-1	10,0	1
+1	10,0	1
+2	0,0	0
+3	0,0	0
10		

90%

10%



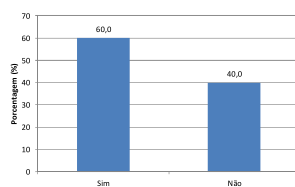
7- Você tem ou já teve problemas vocais em função do uso da voz para lecionar

Resposta	%	Nº de respostas
Sim	60,0	6
Não	40,0	4
10		

60%

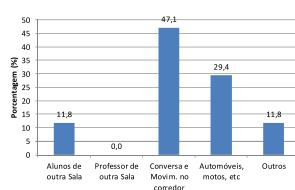
40%

Qual?	%	Nº de respostas
Inclinação na Garganta	33,3	2
Dificuldade em Respirar	33,3	2
Fenda nas cordas vocais	0,0	0
Dor de garganta	16,7	1
Faringite	16,7	1
6		



8- O "barulho" que você ouve vem de onde?

Resposta	Nº de respostas
Alunos de outra Sala	11,8
Professores de outra Sala	0,0
Conversa e Movim. no corredor	47,1
Automóveis, motos, etc	29,4
Outros	11,8
17	
Outros	Nº de respostas
Alunos da própria sala	33,3
Turma excessivamente grande	33,3
us da natureza (cigarra, maricatas, etc)	33,3
3	



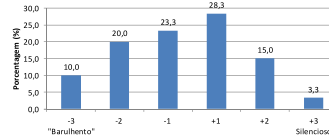
PV3-02 QUESTIONÁRIO ALUNOS

1- Você considera que esta é uma sala silenciosa ou "barulhenta"?

Resposta	%	Nº de respostas
-3	10,0	6
-2	20,0	12
-1	23,3	14
+1	28,3	17
+2	15,0	9
+3	3,3	2
60		

PV3-02 QUESTIONÁRIO ALUNOS

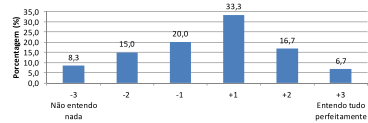
1- Você considera que esta é uma sala silenciosa ou "barulhenta"?



2- Você ouve com clareza tudo que é dito pelo professor ou o som parece "embaralhado"?

Resposta	%	Nº de respostas
-3	8,3	5
-2	15,0	9
-1	20,0	12
+1	33,3	20
+2	16,7	10
+3	6,7	4
60		

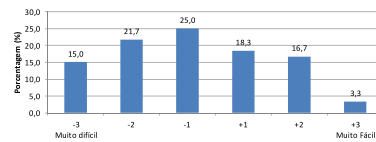
2- Você ouve com clareza tudo que é dito pelo professor ou o som parece "embaralhado"?



3- Com o ventilador (ou climatizador) ligado, como você ouve o que é falado pelo professor?

Resposta	%	Nº de respostas
-3	15,0	9
-2	21,7	13
-1	25,0	15
+1	18,3	11
+2	16,7	10
+3	3,3	2
60		

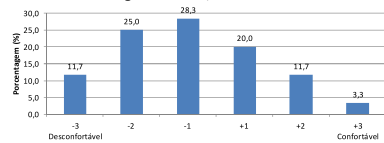
3- Com o ventilador (ou climatizador) ligado, como você ouve o que é falado pelo professor?



4- Em relação à quantidade e intensidade dos ruídos de origem externa, como você classifica?

Resposta	%	Nº de respostas
-3	11,7	7
-2	25,0	15
-1	28,3	17
+1	20,0	12
+2	11,7	7
+3	3,3	2
60		

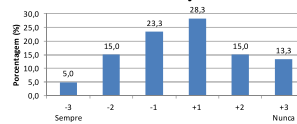
4- Em relação à quantidade e intensidade dos ruídos de origem externa, como você classifica?



5- Com que frequência é necessário fechar a porta e as janelas para obter uma boa audição?

Resposta	%	Nº de respostas
-3	5,0	3
-2	15,0	9
-1	23,3	14
+1	28,3	17
+2	15,0	9
+3	13,3	8
60		

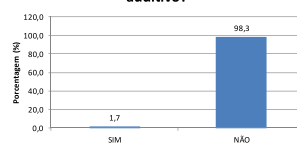
5- Com que frequência é necessário fechar a porta e as janelas para obter uma boa audição?



6- Você tem algum problema auditivo?

Resposta	%	Nº de respostas
SIM	1,7	1
NÃO	98,3	59
60		

6- Você tem algum problema auditivo?



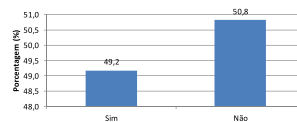
7- Você acha que tem algum lugar na sala que seja muito ou mais "barulhento"?

Resposta	Nº de respostas
Sim	30
Não	31
61	

onde?	%	Nº de respostas
No fundo, próximo à porta	70,6	24
Próximo às Janelas	20,6	7
Próximo ao Ventilador	5,9	2
Na frente	2,9	1
34		

7- Você acha que tem algum lugar na sala que seja muito ou mais "barulhento"?



8- O "barulho" que você ouve vem de onde?

Resposta	Nº de respostas
Alunos de outra Sala	3
Professor de outra Sala	0
Inversa e Músicas no corredor	55,2
Automóveis, motos, etc	41,4
Outros	0,0
87	

8- O "barulho" que você ouve vem de onde?

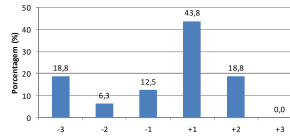


1- Você considera que esta é uma sala silenciosa ou "barulhenta"?

Resposta	%	Nº de respostas
Barulhento -3	18,8	3
-2	6,3	1
-1	12,5	2
+1	43,8	7
+2	18,8	3
Silencioso +3	0,0	0

38%  
63%  
16

1- Você considera que esta é uma sala silenciosa ou "barulhenta"?

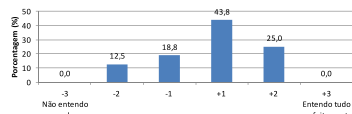


2- Você ouve com clareza tudo que é dito pelos alunos ou o som parece "embaralhado"?

Resposta	%	Nº de respostas
Não entendo nada -3	0,0	0
-2	12,5	2
-1	18,8	3
+1	43,8	7
+2	25,0	4
Entendo tudo perfeitamente +3	0,0	0

31%  
69%  
16

2- Você ouve com clareza tudo que é dito pelos alunos ou o som parece "embaralhado"?

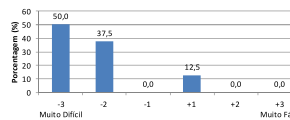


3- Com o ventilador (ou climatizador) ligado, qual é o nível de dificuldade para lecionar?

Resposta	%	Nº de respostas
Muito Difícil -3	50,0	8
-2	37,5	6
-1	0,0	0
+1	12,5	2
+2	0,0	0
Muito Fácil +3	0,0	0

88%  
13%  
16

3- Com o ventilador (ou climatizador) ligado, qual é o nível de dificuldade para lecionar?

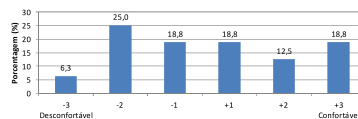


4- Em relação à quantidade e intensidade dos ruídos de origem externa, como você classifica?

Resposta	%	Nº de respostas
Desconfortável -3	6,3	1
-2	25,0	4
-1	18,8	3
+1	18,8	3
+2	12,5	2
Confortável +3	18,8	3

50%  
50%  
16

4- Em relação à quantidade e intensidade dos ruídos de origem externa, como você classifica?

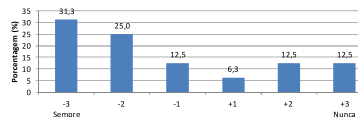


5- Com que frequência é necessário fechar a porta e as janelas para obter uma boa audição?

Resposta	%	Nº de respostas
Sempre -3	31,3	5
-2	25,0	4
-1	12,5	2
+1	6,3	1
+2	12,5	2
Nunca +3	12,5	2

69%  
31%  
16

5- Com que frequência é necessário fechar a porta e as janelas para obter uma boa audição?

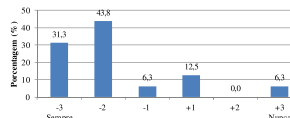


6- Com que frequência é necessário aumentar o "tom" da voz para lecionar?

Resposta	%	Nº de respostas
Sempre -3	31,3	5
-2	43,8	7
-1	6,3	1
+1	12,5	2
+2	0,0	0
Nunca +3	6,3	1

81%  
19%  
16

6- Com que frequência é necessário aumentar o "tom" da voz para lecionar?

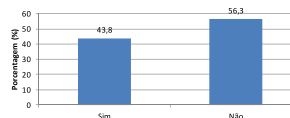


7- Você tem ou já teve problemas vocais em função do uso da voz para lecionar?

Resposta	%	Nº de respostas
Sim	43,8	7
Não	56,3	9

44%  
56%  
16

7- Você tem ou já teve problemas vocais em função do uso da voz para lecionar?



Qual?	%	Nº de respostas
Dificuldade (Rosquilho)	62,5	5
Afonia (Perda da voz)	12,5	1
Dor na garganta	25,0	2

8

8- O "barulho" que você ouve vem de onde?

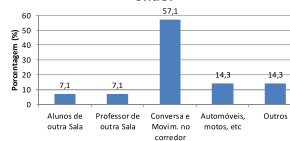
Resposta	%	Nº de respostas
Alunos de outra Sala	7,1	2
Professor de outra Sala	7,1	2
aversa e Movim. no corredor	57,1	16
Automóveis, motos, etc	14,3	4
Outros	14,3	4

28

Outros	%	Nº de respostas
Alunos dentro da sala	75,0	3
Ventilador	25,0	1

4

8- O "barulho" que você ouve vem de onde?

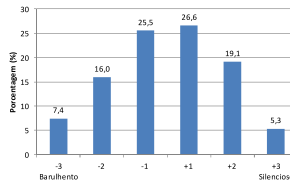


PV4-03 QUESTIONÁRIO ALUNOS

PV4-03 QUESTIONÁRIO ALUNOS

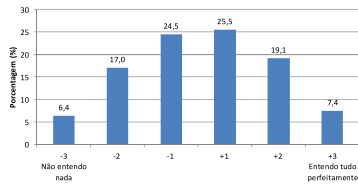
1- Você considera que esta é uma sala silenciosa ou "barulhenta"?

Resposta	%	Nº de respostas
Barulhento -3	7,4	7
-2	16,0	15
-1	25,5	24
+1	26,6	25
+2	19,1	18
Silencioso +3	5,3	5
94		



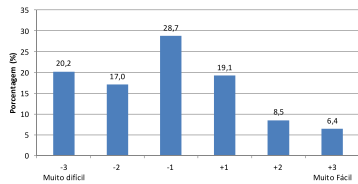
2- Você ouve com clareza tudo que é dito pelo professor ou o som parece "embaralhado"?

Resposta	%	Nº de respostas
Não entendo nada -3	6,4	6
-2	17,0	16
-1	24,5	23
+1	25,5	24
+2	19,1	18
Entendo tudo perfeitamente +3	7,4	7
94		



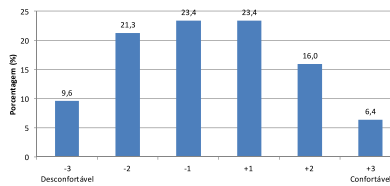
3- Com o ventilador (ou climatizador) ligado, como você ouve o que é falado pelo professor?

Resposta	%	Nº de respostas
Muito difícil -3	20,2	19
-2	17,0	16
-1	28,7	27
+1	19,1	18
+2	8,5	8
Muito Fácil +3	6,4	6
94		



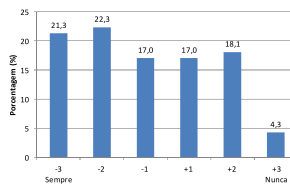
4- Em relação à quantidade e intensidade dos ruídos de origem externa, como você classifica?

Resposta	%	Nº de respostas
Desconfortável -3	9,6	9
-2	21,3	20
-1	23,4	22
+1	23,4	22
+2	16,0	15
Confortável +3	6,4	6
94		



5- Com que frequência é necessário fechar a porta e as janelas para obter uma boa audição?

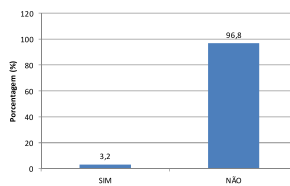
Resposta	%	Nº de respostas
Sempre -3	21,3	20
-2	22,3	21
-1	17,0	16
+1	17,0	16
+2	18,1	17
Nunca +3	4,3	4
94		



6- Você tem algum problema auditivo?

Resposta	%	Nº de respostas
SIM	3,2	3
NÃO	96,8	91
94		

Outre 2  
Escuta 60% 1

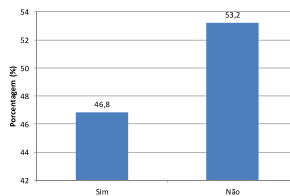


7- Você acha que tem algum lugar na sala que seja muito ou mais "barulhento"?

Resposta	Nº de respostas
Sim	46,8
Não	53,2
94	

Onde?

Resposta	Nº de respostas
Tráfego próximo ao climatizador	74,5
Médio	8,5
Lateral	10,6
Na frente	6,4
47	

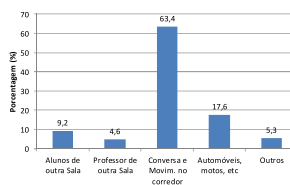


8- O "barulho" que você ouve vem de onde?

Resposta	Nº de respostas
Alunos de outra Sala	9,2
Professor de outra Sala	4,6
Conversa e Movim. no corredor	63,4
Automóveis, motos, etc	17,6
Outros	5,3
131	

Onde?

Resposta	Nº de respostas
Climatizador	40,0
Ventilador	20,0
Alunos da Própria Sala	20,0
Construções	20,0
5	







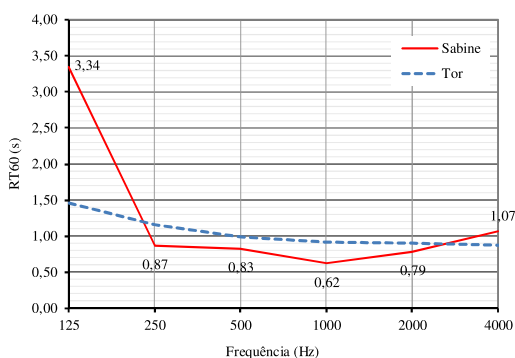


## APÊNDICE G – Cálculo do tempo de reverberação da sala PV4-03

### PV4-03 CÁLCULO DE TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Comprimento (m) =  Largura (m) =  Altura (m) =   
 Volume (m³) = 1230,7 Área (m²) = 935,87 Ocupada (m²) = 1073,32

Local	Material nº	Área (m²)	Coeficiente x área					
			125	250	500	1000	2000	4000
Parede Fundos	4	83,06	2,49	2,49	2,49	2,49	3,32	5,81
Espelhos Degraus	2	31,58	0,32	0,32	0,63	0,63	0,63	1,26
Paredes laterais	4	105,78	3,17	3,17	3,17	3,17	4,23	7,40
Parede Portas	4	16,02	0,48	0,48	0,48	0,48	0,64	1,12
Parede do Quadro	4	25,00	0,75	0,75	0,75	0,75	1,00	1,75
Quadro Negro	7	4,94	1,38	0,99	0,49	0,49	0,40	0,40
Tela touch	8	2,06	0,08	0,06	0,08	0,08	0,06	0,04
Janelas	10	4,36	0,44	0,00	0,17	0,00	0,09	0,00
Vão aberto	11	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36	4,36
Cortina comum	16	4,66	0,33	1,44	2,28	3,77	3,08	2,52
Climatizador	21	4,00	1,20	0,00	2,00	0,00	2,00	0,00
Porta Fechada	12	6,30	0,32	0,00	0,19	0,00	0,19	0,00
Piso	2	319,10	3,19	3,19	6,38	6,38	6,38	12,76
Teto	5	319,10	22,34	181,89	178,70	261,66	188,27	108,49
Carteiras Vazias	14	100,00	9,80	16,00	21,60	18,00	15,70	12,30
Aluno e Carteira	13	40,00	8,00	11,20	12,80	14,80	16,40	17,60
Professor	15	1,00	0,19	0,33	0,44	0,42	0,46	0,37
Mesa	20	1,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Armário	19	1,00	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Ar				0,00	2,63	8,23
A	58,89	226,73	237,10	317,58	249,94	184,55
ã	0,06	0,24	0,25	0,34	0,27	0,20

RT Sabine	3,34	0,87	0,83	0,62	0,79	1,07
Tor	1,46	1,16	0,99	0,92	0,90	0,87

Nº	Materiais	Coeficiente de Absorção por Frequência						Fonte
		125	250	500	1000	2000	4000	
1	Piso Cerâmico	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	OUTROS
2	Piso Concreto com superfície Lisa pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	PL&DT
3	Reboco Liso	0,01		0,02		0,02		ABNT
4	Reboco áspero	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	ABNT
5	Forro em lá de vidro Forrovid Isover Boreal 20mm	0,07	0,57	0,56	0,82	0,59	0,34	ISOV
6	Forro Lambris de PVC	0,25	0,23	0,16	0,11	0,10	0,10	MOURA
7	Quadro Negro de madeira, espessura 3mm, afastado da parede 10cm	0,28	0,20	0,10	0,10	0,08	0,08	ZANNIN
8	Quadro Branco	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	OUTROS
9	Esquadria com vidro	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	D&C
10	Janela com vidro de 6mm	0,10		0,04		0,02		PL&DT
11	Janela ou Porta aberta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	ABNT
12	Porta de Madeira Compensada envernizada	0,05		0,03		0,03		PER
13	Pessoa sentada, incluindo carteira	0,20	0,28	0,32	0,37	0,41	0,44	COM
14	Carteira escolar de plástico vazia	0,10	0,16	0,22	0,18	0,16	0,12	GAIA
15	Adulto em pé	0,19	0,33	0,44	0,42	0,46	0,37	COM
16	Cortina de algodão esticada, c/ dobras em 50% da sua área	0,07	0,31	0,49	0,81	0,66	0,54	COM
17	Cortina Black out	0,02		0,03		0,03		OUTROS
18	Tela de Projeção	0,20		0,50	0,40	0,60		EUC
19	Armário	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	OUTROS
20	Mesa	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	MIÑANA
21	Grade de ventilador cada 50% de seção livre	0,30		0,50		0,50		SBA