



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção

MARYANA SCORALICK DE ALMEIDA TAVARES

**UM PANORAMA DOS NÍVEIS DE RUÍDO PARA CONFORTO ACÚSTICO DE
AMBIENTES DE ENSINO COM VDT EM ÁREAS DAS REGIÕES BRASILEIRAS**

João Pessoa
2016

MARYANA SCORALICK DE ALMEIDA TAVARES

**UM PANORAMA DOS NÍVEIS DE RUÍDO PARA CONFORTO ACÚSTICO DE
AMBIENTES DE ENSINO COM VDT EM ÁREAS DAS REGIÕES BRASILEIRAS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Produção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, apresentado como requisito à obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva

João Pessoa

2016

T231u Tavares, Maryana Scoralick de Almeida

Um panorama dos níveis de ruído para conforto acústico de ambientes de ensino com VDT em áreas das regiões brasileiras./ Maryana Scoralick de Almeida Tavares – João Pessoa: UFPB, 2016.

60f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva

Monografia (Curso Graduação em Engenharia de Produção)
Departamento Engenharia de Produção - DEP/Universidade
Federal da Paraíba. Centro de Tecnologia.

1 .Ruído 2. Sala de aula. 3. VDT. 4. Discente. I. Título

UFPB/BS/CT

CDU:2ed:658.5:534(043)

MARYANA SCORALICK DE ALMEIDA TAVARES

**UM PANORAMA DOS NÍVEIS DE RUÍDO PARA CONFORTO ACÚSTICO DE
AMBIENTES DE ENSINO COM VDT EM ÁREAS DAS REGIÕES BRASILEIRAS**

Data: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Orientador – Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva

Examinadora interna – Denise Dantas Muniz

Examinadora interna – Ivanize Cláudia dos Santos e Silva

AGRADECIMENTOS

A meus pais e a meu irmão, pelo apoio incondicional e pela paciência.

Ao professor Luiz Bueno da Silva, por me conduzir de maneira tranquila na elaboração desta monografia.

A Erivaldo Lopes, pela grande ajuda.

Aos colegas do curso de Engenharia de Produção e do LAT, pelo aprendizado e pelos bons momentos.

A Andrei Targino, pelo carinho, amor e apoio constantes.

RESUMO

O conforto ambiental envolve um conjunto de condições ambientais que podem ou não propiciar bem estar aos indivíduos. Dentre os problemas de conforto ambiental mais encontrados em ambientes de ensino, destacam-se os excessivos níveis de ruído, que afetam as bases do processo de ensino-aprendizagem: a comunicação e a cognição. O objetivo desta monografia é avaliar os parâmetros de níveis de ruído de seis laboratórios de informática com *Video Display Terminals* (VDTs) de Centros de Tecnologia de Instituições de Ensino Superior (IES) em áreas das regiões brasileiras, avaliando o comportamento e a conformidade do seu nível de ruído equivalente (L_{Aeq}) e elaborando um modelo matemático que compare os níveis de ruído entre as instituições. A conformidade dos níveis de ruído encontrados foi avaliada segundo a NBR 10152/1987, a ANSI S12.60-2002 e as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS). As medições técnicas foram realizadas de acordo com a NBR 10151/2000, entre agosto de 2014 e agosto de 2016, em laboratórios de informática de IES das regiões Nordeste, Norte, Sul e Sudeste do Brasil. A análise descritiva mostrou que os seis ambientes de ensino avaliados apresentaram L_{Aeq} superiores aos valores estabelecidos nas normas aplicáveis. Criou-se um modelo linear generalizado (MLG) para comparar os níveis de ruído entre os laboratórios de informática das instituições, o qual corroborou os resultados obtidos na análise descritiva. Avaliaram-se os aspectos arquitetônicos dos laboratórios e concluiu-se que os elevados níveis de ruído podem estar vinculados aos baixos coeficientes de absorção (em média 0,024) dos materiais presentes nos laboratórios.

Palavras-chave: Ruído. Sala de aula. VDT. Discente.

ABSTRACT

The environmental comfort involves a set of environmental conditions that may or may not provide well-being to individuals. Among the environmental comfort problems most commonly found in teaching environments, the excessive noise levels is emphasized, which affect the foundations of the teaching-learning process: communication and cognition. The purpose of this paper is to assess the parameters of the noise levels of six computer laboratories with Video Display Terminals (VDTs) in Technology Centers of Higher Education Institutions (HEI) in areas of Brazilian regions, evaluating the behavior and compliance of their equivalent noise level (L_{Aeq}) and developing a mathematical model to compare the noise levels between the institutions. The compliance of the noise levels was evaluated according to NBR 10152/1987, ANSI S12.60-2002 and the guidelines of the World Health Organization (WHO). The technical measurements were performed according to NBR 10151/2000, between August 2014 and August 2016, in computer laboratories of HEI in the Northeast, North, South and Southeast of Brazil. The descriptive analysis showed that the six learning environments evaluated presented L_{Aeq} higher than the values established in the applicable standards. A generalized linear model (GLM) was created to compare the noise levels between the computer laboratories of the institutions, which corroborated the results obtained in the descriptive analysis. The architectural aspects of the laboratories were evaluated and it was concluded that the high levels of noise may be linked to the low absorption coefficients (average 0.024) of the materials present in the laboratories.

Keywords: Noise. Classroom. VDT. Student.

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Limites toleráveis de ruídos para diversas atividades | 21 |
| Tabela 2: Valores de ruído em dB(A) para diferentes locais..... | 22 |
| Tabela 3: Tempo máximo de exposição diária para ruídos acima de 85 dB(A)..... | 23 |
| Tabela 4: p-valor para a Distribuição Normal..... | 42 |
| Tabela 5: Pseudo-R2 para cada modelo | 43 |
| Tabela 6: Valor esperado do L_{Aeq} para os laboratórios de referência e a diferença esperada em relação aos demais | 44 |
| Tabela 7: Parâmetros estimados antes e após exclusão dos pontos de alavanca ... | 45 |
| Tabela 8: Pseudo-R2 antes e após exclusão dos pontos de alavanca..... | 46 |
| Tabela 9: Teste ANOVA – Desvios residuais..... | 47 |
| Tabela 10: Intervalo de confiança do modelo ajustado com a instituição F como referência | 49 |
| Tabela 11: Coeficientes de absorção acústica..... | 50 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Tempo de exposição a níveis de ruído de diferentes frequências..... | 24 |
| Figura 2: Brüel & Kjær 2250-L..... | 29 |
| Figura 3: Pontos de medição..... | 30 |
| Figura 4: Laboratório da Instituição A..... | 31 |
| Figura 5: Laboratório da Instituição B..... | 32 |
| Figura 6: Laboratório da Instituição C..... | 32 |
| Figura 7: Laboratório da Instituição D..... | 33 |
| Figura 8: Laboratório da Instituição E..... | 34 |
| Figura 9: Laboratório da Instituição F..... | 35 |
| Figura 10: Análise de resíduos – Pontos de alavanca..... | 45 |
| Figura 11: Laboratórios divididos em grupos..... | 48 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1: Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição A | 36 |
| Gráfico 2: Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição B | 37 |
| Gráfico 3: Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição C | 37 |
| Gráfico 4: Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição D | 38 |
| Gráfico 5: Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição E | 39 |
| Gráfico 6: Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição F | 39 |
| Gráfico 7: Níveis de ruído equivalente, em dB(A), das salas das seis instituições... | 40 |
| Gráfico 8: Níveis de ruído equivalente médio por dia, em dB(A) | 40 |
| Gráfico 9: Histograma - L_{Aeq} nos seis laboratórios | 41 |
| Gráfico 10: Curvas de densidade de Probabilidade | 42 |
| Gráfico 11: Análise da função de variância | 46 |
| Gráfico 12: QQ-Plot | 47 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANSI | <i>American National Standards Institute</i> |
| CNPq | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico |
| CT | Centro de Tecnologia |
| EU-OSHA | <i>European Agency for Safety and Health at Work</i> |
| IES | Instituição de Ensino Superior |
| NBR | Normas Brasileiras da Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| NHO | Norma de Higiene Ocupacional |
| NR | Norma Regulamentadora |
| OMS | Organização Mundial da Saúde |
| VDT | <i>Video Display Terminal</i> |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 Justificativa | 15 |
| 1.2 Objetivos | 17 |
| 1.2.1 Objetivo geral | 17 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 17 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 18 |
| 2.1 Acústica e som | 18 |
| 2.1.1 Propriedades do som | 21 |
| 2.1.2 Limites toleráveis de ruído e tempo de exposição..... | 22 |
| 2.2 O conforto ambiental em ambiente escolar e universitário | 25 |
| 2.3 Normas vigentes para ruído em ambientes de ensino | 26 |
| 3 METODOLOGIA E MATERIAIS | 28 |
| 3.1 Natureza da pesquisa | 28 |
| 3.2 População e amostra | 28 |
| 3.3 Tratamento de dados | 29 |
| 3.4 Medições técnicas | 29 |
| 3.5 Aparelho de medição | 30 |
| 3.6 Ambientes avaliados | 31 |
| 3.6.1 Laboratório de informática – Instituição A | 31 |
| 3.6.2 Laboratório de informática – Instituição B | 32 |
| 3.6.3 Laboratório de informática – Instituição C | 32 |
| 3.6.4 Laboratório de informática – Instituição D | 34 |
| 3.6.5 Laboratório de informática – Instituição E | 34 |
| 3.6.6 Laboratório de informática – Instituição F..... | 35 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 37 |
| 4.1 Análise descritiva dos resultados | 37 |
| 4.1.1 Laboratório de informática – Instituição A | 37 |
| 4.1.2 Laboratório de informática – Instituição B | 37 |
| 4.1.3 Laboratório de informática – Instituição C | 38 |
| 4.1.4 Laboratório de informática – Instituição D | 39 |
| 4.1.5 Laboratório de informática – Instituição E | 39 |
| 4.1.6 Laboratório de informática – Instituição F..... | 40 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.7 Panorama nacional..... | 40 |
| 4.2 Discussão dos resultados | 42 |
| 4.2.1 Análise com o software R..... | 42 |
| 4.2.2 Análise dos aspectos arquitetônicos | 50 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 53 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 54 |
| APÊNDICE I – Rotina utilizada no software R..... | 58 |

1 INTRODUÇÃO

Os problemas mais comumente encontrados em ambientes internos incluem ruído, calor, falta de ventilação, falta ou excesso de iluminação. De acordo com Huang *et al.* (2012), nos últimos anos vem acontecendo um aumento da conscientização pública sobre os efeitos do ambiente interno no conforto e na saúde das pessoas.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016a), o ruído excessivo prejudica gravemente a saúde humana e interfere com as atividades cotidianas das pessoas na escola, no trabalho, em casa e no lazer. Ele pode perturbar o sono, causar efeitos cardiovasculares e psicofisiológicos, reduzir o desempenho e provocar aborrecimento e mudanças no comportamento social.

Em todo o mundo, a deficiência auditiva induzida por ruído é o risco ocupacional irreversível mais prevalente e estima-se que 120 milhões de pessoas no mundo têm dificuldades auditivas incapacitantes. A principal consequência social da deficiência auditiva é a incapacidade de compreensão da fala em condições de vida diárias, considerada uma deficiência social grave. Mesmo pequenos valores de deficiência auditiva (cerca de 10 dB) podem afetar adversamente a compreensão da fala (OMS, 1999).

Para os ambientes de sala de aula essa consequência é crítica, visto que a comunicação é a base do processo de ensino-aprendizagem. As instituições de ensino, seja a escola ou a universidade, têm papel fundamental na formação dos indivíduos, influenciando direta e indiretamente em questões sociais, econômicas e ambientais. Essas influências devem ser direcionadas a promover o desenvolvimento individual, que vai, por conseguinte, desencadear no desenvolvimento da sociedade.

Assim, os ambientes de ensino devem ser apropriados e projetados para auxiliar a aprendizagem e o desenvolvimento do indivíduo, usando os princípios do conforto ambiental para atingir a melhor configuração possível. A aprendizagem é um processo dinâmico que ocorre em diversos tipos de ambiente, e há uma relação direta entre o desempenho do aluno com a qualidade do espaço escolar. Os professores sofrem de problemas vocais com frequência muito maior que o restante da população, e para estes as salas de aula com má acústica é um perigo em potencial. Portanto, o estudo do conforto ambiental em escolas e universidade é

imprescindível (BERNARDI, 2001; GEMELLI, 2009; MUELLER, 2007; PELEGRÍN-GARCÍA; BRUNSKOG, 2012).

A OMS (1999) menciona que para se entender o ruído, deve-se compreender os diferentes tipos de ruído, como medi-los, de onde eles vêm e quais os seus efeitos no ser humano. A organização afirma também que é provável que o ruído continue como uma questão relevante no próximo século, tanto nos países desenvolvidos como nos em desenvolvimento. Portanto, uma ação estratégica é necessária, como o controle do ruído contínuo na fonte e em áreas locais, uma vez que o ruído pode afetar a saúde humana negativamente, tornando-se profícuo avaliar em que medida estão os parâmetros de ruído em laboratórios de informática de instituições de ensino superior.

1.1 Justificativa

Silva e Rocha (2013) afirmam que sob o ponto de vista da acústica, uma sala de aula adequada é aquela que possui pouco ruído e curto tempo de reverberação. De acordo com Lida e Buarque (2016, p. 399), o ruído

[...] gera aborrecimentos, devido à interrupção forçada da tarefa ou aquilo que as pessoas gostariam de estar fazendo, como conversar ou dormir, e isso provoca tensões e dor de cabeça. Também pode prejudicar a memória de curta duração. [...] Não é fácil caracterizar o ruído que mais perturba as pessoas, porque isso depende de uma série de fatores, como frequência, intensidade, duração, timbre, nível de pico e, inclusive, o horário em que ocorre. Há também diferenças individuais, pois cada pessoa tem uma sensibilidade diferente aos ruídos. Em geral, os ruídos mais agudos são os menos tolerados.

O ruído pode afetar negativamente o desempenho de tarefas cognitivas, como o processo de ensino-aprendizagem. Ambientes com atividades de estudo ou ensino-aprendizagem, como as salas de aula, exigem altos níveis de concentração devido às atividades cognitivas e, portanto, devem ter baixos níveis de ruído. Embora possa induzir excitação temporária para tarefas simples e curtas, o desempenho cognitivo cai significativamente para tarefas mais complexas. Leitura, resolução de problemas e memorização são algumas das tarefas mais afetadas, aumentando a ocorrência de erros. O desempenho tende a piorar após duas horas de exposição ao ruído (IIDA; BUARQUE, 2016; OMS, 1999).

Uma boa acústica é essencial nas salas de aula e em outros espaços de aprendizagem em que a comunicação vocal é uma parte importante do processo de ensino. Ruído ou reverberação excessivos em tais espaços interferem com a

comunicação oral e, portanto, apresentam-se como uma barreira para a aprendizagem. Em uma sala de aula com boa acústica, a performance é melhor e a aprendizagem é mais fácil, mais profunda, mais duradoura e menos fatigante (ANSI, 2002; PARK *et al.*, 2015).

A acústica afeta diretamente a comunicação verbal, aspecto inerente ao processo de ensino e aprendizagem. Um ambiente mal projetado acusticamente gera alto nível de ruídos, que atrapalham o rendimento escolar. Portanto, a boa acústica é fundamental ao bom desempenho acadêmico, visto que um ambiente silencioso e com baixa reverberação faz com que os alunos se expressem com tons de voz mais baixos, melhorando ainda mais as condições acústicas (ANSI, 2002; KOWALTOWSKI, 2011; MUELLER, 2007).

De acordo Kowaltowski (2011), os projetos de salas de aula devem incluir tetos acústicos e o material do piso deve ser de carpete antialérgico, materiais que, juntos, reduzem a reverberação do som e absorvem ruídos. Entretanto, essas soluções são pouco aplicadas no Brasil, onde foca-se principalmente no conforto térmico, adotando-se janelas para ventilação cruzada que acabam aumentando os ruídos.

Nas salas de aula, há incidência de diversos ruídos, tanto internos quanto externos. Os externos podem ser os ruídos de salas de aula circunvizinhas, da quadra de esportes e de automóveis passando nas vias; os internos incluem as conversas de alunos, os ruídos de aparelhos de ventilação, climatização e aparelhos eletrônicos. Ressalta-se a importância de estudar os ruídos dos equipamentos que serão utilizados na sala de aula previamente, antes de serem inseridos no ambiente de ensino (BRITO, 2016; KOWALTOWSKI, 2011).

Os ruídos internos e externos, combinados, influenciam o rendimento dos alunos e provocam dificuldade na comunicação entre professor e alunos, além da falta de privacidade entre as diferentes salas de aula. Índices elevados de ruído externo e interno “exacerbam a confusão entre os alunos, [...] causam o desgaste do professor e possibilitam a falta de atenção e interesse dos alunos, além dos efeitos negativos para a audição” (BERNARDI, 2001, p. 41).

De acordo com Rabelo et al. (2014), entre os danos causados pelo ruído em sala de aula, podem-se citar prejuízos físicos, emocionais e educacionais. Os autores também afirmam que a comunicação oral é prejudicada pelo ruído, pois compromete a inteligibilidade da fala e faz com que o professor aumente o volume

de sua voz, enquanto os alunos também são obrigados a realizar um maior esforço para compreender o conteúdo da mensagem.

Outro aspecto importante é apontado por Brito (2016), que afirma que o indivíduo pode se acostumar com o elemento causador do desconforto – neste caso, o ruído – e dispor, até inconscientemente, de maior energia para manter a atenção e a concentração no processo de aprendizagem.

Nesse sentido, essa monografia apresenta uma avaliação dos parâmetros de níveis de ruído dos laboratórios de informática com *Video Display Terminals* (VDTs) de Centros de Tecnologia de Instituições de Ensino Superior (IES) em áreas das regiões brasileiras.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar os parâmetros de níveis de ruído dos laboratórios de informática com *Video Display Terminals* (VDTs) de Centros de Tecnologia de Instituições de Ensino Superior (IES) em áreas das regiões brasileiras.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar os Níveis de Ruído Equivalente (L_{Aeq}) dos ambientes de ensino com VDT;
- Avaliar o comportamento do L_{Aeq} dos ambientes de ensino com VDT;
- Avaliar a conformidade L_{Aeq} dos ambientes de ensino com VDT de acordo com as normas nacionais e internacionais;
- Realizar análise comparativa entre os L_{Aeq} dos ambientes de ensino com VDT.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, são apresentados os principais conceitos de acústica, som, ruído e suas consequências; conforto ambiental, sobretudo no ambiente escolar; a decorrência da presença de ruído nestes ambientes e, finalmente, as normas vigentes para a análise de ruído.

2.1 Acústica e som

Acústica é o “comportamento de um espaço em relação ao som produzido em seu interior” (VALLE, 2009, p. 77). O som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante, passível de ser detectada pelo ouvido humano. As vibrações sonoras se propagam a partir da fonte sonora ao meio que circunda o corpo em todas as direções, podendo haver uma maior concentração de energia em determinado sentido, a depender da configuração da fonte (CARVALHO, 2010; COSTA, 2003).

A NBR 12179/1992 define som como “toda e qualquer vibração ou onda mecânica que se propaga num meio dotado de forças internas (p.ex.: elástico, viscoso, etc.), capaz de produzir no homem uma sensação auditiva”.

As ondas sonoras podem chegar até o receptor através do ar ou indiretamente, por condução nos materiais – estruturas sólidas, paredes, pavimentos, tetos. Como o som necessita de um meio para se propagar (sólido, líquido ou gasoso), ele não se propaga no vácuo. As ondas sonoras são captadas pelo ouvido, que as converte em sinais elétricos e transmite ao cérebro a informação, produzindo as sensações sonoras (CARVALHO, 2010; COSTA, 2003; MIGUEL, 2014).

Como apontado pela OMS (1999), fisicamente, não há distinção entre som e ruído. O som é uma percepção sensorial evocada pelos processos fisiológicos no cérebro auditivo. O ruído, por sua vez, não pode ser definido exclusivamente com base em parâmetros físicos de som. Por isso, é usualmente conceituado como um som indesejável.

Porém, considerar um som como indesejável é subjetivo, então convém fazer definições de cunho mais operacional: “mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa, e que diferem entre si por valores imperceptíveis ao

ouvido humano” (NBR 12179/1992); ou “um estímulo auditivo que não contém informações úteis para a tarefa em execução” (IIDA; BUARQUE, 2016, p. 394).

O som é caracterizado por três variáveis: intensidade (nível de pressão sonora), frequência e duração. A pressão sonora é a intensidade das vibrações sonoras ou das variações de pressão associadas, e é expressa em Newton por metro quadrado (N/m^2) ou pascal (Pa). Entretanto, expressar a pressão sonora em uma escala linear é impraticável, visto que ela varia de valores muito pequenos (da ordem de 10^{-6} Pa, ou μPa) a valores grandes (cerca de 100 Pa).

Somado a esse fato, o ouvido humano não responde linearmente aos estímulos, mas sim logaritmicamente. Assim, a pressão sonora é estudada em escala logarítmica, expressa em decibéis (dB). O decibel é o logaritmo da razão entre o valor medido e um valor de referência padronizado (MIGUEL, 2014). O nível de pressão sonora, expresso em decibéis é dado pela Equação 1.

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

onde I é o valor eficaz da intensidade sonora, em W/m^2 , e I_0 é o valor eficaz da intensidade sonora de referência (10^{-12}W/m^2).

A NBR 10151/2000 especifica um método para a medição de ruído; a aplicação de correções, caso o ruído apresente características especiais; e uma comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta vários fatores. Faz também as seguintes definições:

- Nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), em decibels ponderados em “A”: nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação “A”) referente a todo o intervalo de medição;
- Ruído com caráter impulsivo: Ruído que contém impulsos, que são picos de energia acústica com duração menor do que 1 s e que se repetem a intervalos maiores do que 1 s (por exemplo martelagens, bate-estacas, tiros e explosões);
- Ruído com componentes tonais: Ruído que contém tons puros, como o som de apitos ou zumbidos;
- Nível de ruído ambiente (L_{ra}): Nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A”, no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão.

É importante ressaltar que os níveis de pressão sonora expressos em dB(A) são resultado do uso da ponderação “A”, que, segundo Miguel (2014), traduz aproximadamente a resposta do ouvido humano.

Ainda segundo a NBR 10151/2000, todos os valores medidos do nível de pressão sonora devem ser aproximados ao valor inteiro mais próximo, não devem ser efetuadas medições na existência de interferências audíveis advindas de fenômenos da natureza (por exemplo: trovões, chuvas fortes etc.), e o tempo de medição deve ser escolhido de forma a permitir a caracterização do ruído em questão. A medição pode envolver uma única amostra ou uma sequência delas.

As medições em ambientes internos devem ser efetuadas nas condições de utilização normal do ambiente e a uma distância de no mínimo 1 m de quaisquer superfícies, como paredes, teto, pisos e móveis. Os níveis de pressão sonora em interiores devem ser o resultado da média aritmética dos valores medidos em pelo menos três posições distintas, sempre que possível afastadas entre si em pelo menos 0,5 m.

A frequência de uma onda sonora corresponde ao número de ciclos executados pela onda em um segundo. O número de ciclos ou períodos por segundo é dado em Hertz (Hz), conforme Equação 2.

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

A frequência da onda sonora caracteriza a altura do som. O som de baixa frequência é dito grave (abaixo de 1.000 Hz), enquanto o de alta frequência (acima de 3.000 Hz) é dito alto ou agudo. O ouvido humano é capaz de distinguir sons com frequência entre 20 e 20.000 Hz (COSTA, 2003; IIDA; BUARQUE, 2016).

No entanto, a sensibilidade dos sistemas auditivos humanos varia para cada frequência; por isso, são utilizados filtros ou ponderações para determinar a intensidade dos componentes da frequência de um ruído em particular, sendo a ponderação “A” a mais utilizada, pois considera menos importantes as frequências baixas, se comparadas às medias e altas. A maioria dos sons ambientais é composta de um *mix* complexo de diferentes frequências (OMS, 1999).

Em geral, a duração dos sons é medida em segundos. A classificação segundo a duração separa-os em três categorias: de longa, curta ou curtíssima duração. Os ruídos de longa duração, ou contínuos, ocorrem com certa

uniformidade. Se sua intensidade ultrapassar os 85 dB, o desempenho do indivíduo é afetado.

Ruídos de curta duração duram de um a dois minutos e causam queda no desempenho no início e no fim do período do ruído. Alguns segundos após seu início, o rendimento pode ser retomado, porém, a interrupção do ruído ocasiona uma nova queda de desempenho. Os de curtíssima duração (ou de impacto) tem duração de apenas alguns segundos. São de difícil adaptação, pois são inesperados, geralmente de alta intensidade acústica, causando as maiores perturbações. A NBR 12179/1992 define ruído de impacto como aquele produzido por percussão sobre um corpo sólido e transmitido através do ar, por exemplo, queda de objetos, ruídos de passos, marteladas, etc.

Os ruídos de impacto são particularmente problemáticos, pois podem causar perda auditiva induzida por ruído. Por exemplo, ruídos de armas e de outros tipos de explosão podem resultar em um dano por conta de uma única exposição (KLEINER, 2012).

2.1.1 Propriedades do som

Destacam-se cinco propriedades principais do som: absorção, reflexão, difração, reverberação e tempo de reverberação. Segundo Miguel (2014), a absorção consiste na conversão de energia acústica em energia térmica, ocorrendo dissipação ou transmissão, e acontece na superfície dos materiais. Depende, entre outros fatores, da densidade, espessura e tipo do material.

Na reflexão, a onda não é absorvida pela superfície, e sim refletida de volta para o ambiente com ângulo igual ao ângulo de incidência (VALLE, 2009).

Difração é “[...] a propriedade que uma onda sonora possui de transpor obstáculos posicionados entre a fonte sonora e a recepção, mudando sua direção e reduzindo sua intensidade” (CARVALHO, 2010, p. 30).

A reverberação é um fenômeno acústico que ocorre em um espaço fechado, como uma sala de aula, quando o som permanece nesse espaço como resultado da repetida reflexão a partir das superfícies ou dos objetos do espaço, tais como janelas, cadeiras ou armários (ANSI, 2002).

O tempo de reverberação é definido como o tempo que leva para que a densidade de energia sonora caia para um milionésimo de seu valor anterior. Isto

corresponde a uma diminuição do nível de pressão sonora de 60 dB. Usando conhecimento sobre o volume da sala, os coeficientes de som de absorção das superfícies da sala, seus respectivos tamanhos e a frequência do som, é possível calcular o tempo de reverberação (ANSI, 2002; KLEINER, 2012).

2.1.2 Limites toleráveis de ruído e tempo de exposição

A exposição ao ruído pode trazer efeitos negativos ao organismo. Alguns sintomas são sentidos momentaneamente, como dores de cabeça. Outros problemas, como a perda auditiva, não são percebidos imediatamente, pois ocorrem em longo prazo. Alguns transtornos decorrentes da exposição contínua a ruído são: distúrbios do sono, estresse, perda da capacidade auditiva, alteração do humor, irritabilidade, aumento da frequência cardíaca, surdez, zumbido no ouvido, distúrbios digestivos, falta de concentração, pressão alta, dor de cabeça, fadiga e alergias (SENADO FEDERAL, 2004).

De acordo com Kleiner (2012), o excesso de exposição ao som pode danificar o mecanismo de audição humana; até mesmo níveis de excitação normais podem sensibilizar a audição.

Para cada tipo de ambiente, existe um nível de ruído compatível. A Tabela 1 apresenta os limites toleráveis de ruídos para diversos tipos de atividades. Observe-se que 50 dB seria o nível de ruído tolerável para que o ambiente seja considerado silencioso.

Tabela 1: Limites toleráveis de ruídos para diversas atividades

| Nível de ruído dB (A) | Atividade |
|------------------------------|--|
| 50 | A maioria considera como um ambiente silencioso |
| 55 | Máximo aceitável para ambientes que exigem silêncio |
| 60 | Aceitável em ambientes de trabalho durante o dia |
| 65 | Limite máximo aceitável para ambientes ruidosos |
| 70 | Inadequado para trabalho em escritórios. Conversação difícil |
| 75 | É necessário aumentar a voz para conversação |
| 80 | Conversação muito difícil |
| 85 | Limite máximo tolerado para a jornada de trabalho |

Fonte: Adaptado de Lida e Buarque (2006)

Os níveis de ruído para conforto acústico para diversos ambientes são definidos pela NBR 10152/1987. Os valores foram reproduzidos na Tabela 2. O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade. Níveis superiores aos estabelecidos pela norma são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de danos à saúde. Observa-se pela Tabela 2 que para a análise realizada nesta monografia, a faixa ideal é de 40 a 50 dB(A).

Tabela 2: Valores de ruído em dB(A) para diferentes locais

| Locais | dB(A) |
|---|--------------|
| Hospitais | |
| Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos | 35 - 45 |
| Laboratórios, Áreas para uso do público | 40 - 50 |
| Serviços | 45 - 55 |
| Escolas | |
| Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho | 35 - 45 |
| Salas de aula, Laboratórios | 40 - 50 |
| Circulação | 45 - 55 |
| Hotéis | |
| Apartamentos | 35 - 45 |
| Restaurantes, Salas de Estar | 40 - 50 |
| Portaria, Recepção, Circulação | 45 - 55 |
| Residências | |
| Dormitórios | 35 - 45 |
| Salas de estar | 40 - 50 |
| Auditórios | |
| Salas de concertos, Teatros | 30 - 40 |
| Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo | 35 - 45 |
| Restaurantes | 40 - 50 |
| Escritórios | |
| Salas de reunião | 30 - 40 |
| Salas de gerência, Salas de projetos e de administração | 35 - 45 |
| Salas de computadores | 45 - 65 |
| Salas de mecanografia | 50 - 60 |
| Igrejas e Templos (Cultos meditativos) | 40 - 50 |
| Locais para esporte | |
| Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas | 45 - 60 |

Fonte: Adaptado de NBR 10152/1987

O tempo de exposição aceitável é definido de acordo com a intensidade e a frequência do ruído. No Brasil, este tempo é determinado pela NR 15/1978. Ela define que o ruído máximo permitido para uma jornada de oito horas de trabalho é de 85 dB.

A Tabela 3 mostra o tempo máximo de exposição diária permissível para ruídos acima de 85 dB(A). Percebe-se que a variação do nível de ruído é linear e a do tempo de exposição permissível é não-linear; esse fenômeno ocorre devido à propriedade logarítmica do som.

Tabela 3: Tempo máximo de exposição diária para ruídos acima de 85 dB(A)

| Nível de ruído dB(A) | Máxima exposição diária permissível |
|----------------------|-------------------------------------|
| 85 | 8 horas |
| 86 | 7 horas |
| 87 | 6 horas |
| 88 | 5 horas |
| 89 | 4 horas e 30 minutos |
| 90 | 4 horas |
| 91 | 3 horas e 30 minutos |
| 92 | 3 horas |
| 93 | 2 horas e 40 minutos |
| 94 | 2 horas e 15 minutos |
| 95 | 2 horas |
| 96 | 1 hora e 45 minutos |
| 98 | 1 hora e 15 minutos |
| 100 | 1 hora |
| 102 | 45 minutos |
| 104 | 35 minutos |
| 105 | 30 minutos |
| 106 | 25 minutos |
| 108 | 20 minutos |
| 110 | 15 minutos |
| 112 | 10 minutos |
| 114 | 8 minutos |
| 115 | 7 minutos |

Fonte: NR 15 (BRASIL, 1978)

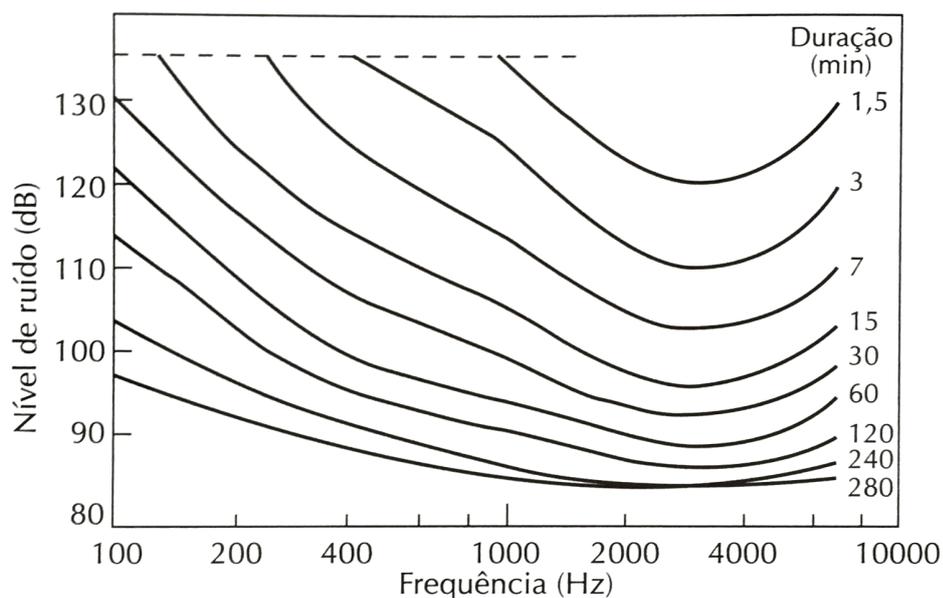
A norma NHO 01 estabelece que “não é permitida, em nenhum momento da jornada de trabalho, exposição a níveis de ruído contínuo ou intermitente acima de

115 dB(A) para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos” (FUNDACENTRO, 2001).

Segundo Lida e Buarque (2016),

O tempo de exposição depende também das frequências do som. Para o mesmo nível, se a frequência aumentar, esse tempo tende a diminuir. [...] Os riscos são maiores para a faixa de 2.000 a 6.000 Hz, especialmente para ruídos em torno de 4.000 Hz. Por exemplo, a exposição a um ruído com 100 dB e 4.000 Hz deve limitar-se a apenas sete minutos. [ver Figura 1]

Figura 1: Tempo de exposição a níveis de ruído de diferentes frequências



Fonte: Lida e Buarque (2016)

2.2 O conforto ambiental em ambiente escolar e universitário

Conforto ambiental pode ser definido como “um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 43).

O conforto está “relacionado a questões psicológicas de identificação e satisfação com o local, assim como a condições físicas de temperatura, umidade, ventilação, iluminação e acústica” (FREITAS, 2005, p. 46).

De acordo com Lima (2015), o conforto ambiental “busca harmonizar as relações entre as características individuais e os parâmetros ambientais, a fim de produzir condições em que as atividades possam ser executadas com segurança e sem prejuízos à saúde”.

Assim, é primordial que as diversas variáveis térmicas, luminosas, acústicas e antropométricas sejam analisadas e controladas de modo a garantir o conforto ambiental. O presente trabalho aborda uma das variáveis do conforto ambiental: o conforto acústico, mas enfatizando os níveis de ruído para o conforto acústico em laboratórios de informática de Instituições de Ensino Superior.

Segundo Freitas (2005), o conforto acústico “depende da qualidade do som nos ambientes e do isolamento dos ruídos”. Para garantir o conforto acústico, deve-se estudar o som, suas principais propriedades e as propriedades do ambiente. Além disso, deve-se levar em consideração os ruídos internos e externos ao ambiente.

Como apontado por Brito (2016), o desempenho acústico de salas de aula deveria ser considerado no desenvolvimento do projeto arquitetônico, no entanto, a maioria dos projetos elaborados se concentra em aspectos como iluminação e ventilação, deixando de abordar os parâmetros acústicos.

Segundo Kowaltowski (2011), uma análise dos estudos de ambientes físicos de escolas públicas brasileiras mostra que os prédios escolares apresentam nível de conforto mínimo. A autora destaca a necessidade da realização de pesquisas sobre as condições do conforto ambiental e a possibilidade de introduzir melhorias, para propiciar um ambiente adequado ao ensino. A afirmação é corroborada por Mueller (2007), quando a autora afirma que estudantes inseridos em ambientes de ensino adequados

[...] aprenderão mais rápido porque eles se encontram mais confortáveis, podem ver e ouvir melhor, e se distraem menos. Ao mesmo tempo, professores ensinarão melhor em uma sala de aula com as mesmas características. Ambientes com uma iluminação deficiente, uma acústica deficiente e uma qualidade do ar deficiente são barreiras para a educação. Ambientes com alto desempenho removem essas barreiras, permitindo que professores e estudantes trabalhem sob melhores condições (MUELLER, 2007, p. 20).

2.3 Normas vigentes para ruído em ambientes de ensino

As normas internacionais estabelecem diferentes valores para o conforto acústico em salas de aula. A americana ANSI S12.60-2002, que é específica para ambientes escolares, determina que, para salas com volume de até 283 m³, o nível de ruído não deve ultrapassar 35 dB(A).

A European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA, 2005) define que o nível de ruído em salas de aula devem estar entre 30 e 40 dB(A). Já a OMS

(2016b) recomenda um nível abaixo de 35 dB(A) para garantir boas condições de ensino e aprendizagem.

No Brasil, não há uma norma que trate de ruído ou conforto acústico especificamente para ambientes escolares. Portanto, são utilizadas duas normas da ABNT que tratam desses assuntos de maneira generalizada:

- NBR 10151/2000: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento;
- NBR 10152/1987: Níveis de ruído para conforto acústico.

Segundo as determinações da NBR 10152, o nível de ruído para conforto em salas de aula é de até 40 dB, e o nível de ruído aceitável é até 50 dB, como apresentado na Tabela 2. Ruídos acima de 50 dB são considerados desconfortáveis.

3 METODOLOGIA E MATERIAIS

O presente trabalho teve como base o projeto de pesquisa “Mudanças Climáticas e a Elevação da Temperatura: Implicações no conforto, na saúde e no desempenho de alunos em ambientes de ensino inteligentes (*News ICT*) nas regiões brasileiras”, coordenado pelo Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva e financiado pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelos fundos setoriais CT-Agro, CT-Saúde e CT-Hidro da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

Dentre as medições dos parâmetros de conforto ambiental, há as variáveis de ruído, cuja análise é a proposta desta monografia. Os dados de ruído foram coletados em laboratórios de informática de centros de tecnologia de seis instituições de ensino brasileiras (Quadro 1).

Quadro 1: Descrição das instituições

| Instituição | Região | Descrição |
|-------------|----------|--|
| A | Nordeste | Instituição de Ensino Superior pública |
| B | Nordeste | Instituição de Ensino Superior privada |
| C | Norte | Instituição de Ensino Superior pública |
| D | Sul | Instituição de Ensino Superior pública |
| E | Nordeste | Instituição de Ensino Superior pública |
| F | Sudeste | Instituição de Ensino Superior pública |

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

3.1 Natureza da pesquisa

Quanto a sua natureza, esta pesquisa é classificada como aplicada. Quanto aos objetivos, caracteriza-se como descritiva, porque descreve o conforto acústico e a relação com suas principais variáveis; e exploratória, pois visa criar maior familiaridade em relação aos parâmetros e à acústica das salas de aula com VDT.

3.2 População e amostra

De acordo com o Censo da Educação Superior realizado em 2013, há 2.391 mil instituições de ensino superior no Brasil, sendo 301 públicas e 2.091 particulares. As IES se subdividem em universidades e faculdades. As universidades são responsáveis por 53,4% das matrículas, enquanto as faculdades concentram 29,2%.

A quantidade de estudantes matriculados naquele ano totalizou 7.305.977 milhões (BRASIL, 2014).

O estudo foi realizado em seis instituições em regiões do Brasil em ambientes de ensino com VDTs. As salas de aula são de turmas universitárias de centros de tecnologia que realizam atividades em laboratório de informática, cada uma com cerca de 30 alunos. Dos seis laboratórios avaliados, conforme Quadro 1, três estão localizados em instituições da região Nordeste, um na região Norte, um no Sudeste e um no Sul do Brasil.

Os indivíduos presentes no momento dos experimentos eram do sexo feminino e masculino, dos quais 32,3% são mulheres e 67,7% homens; com idades entre 17 e 50 anos, sendo 22,23 anos a idade média e desvio-padrão 5,28 anos.

3.3 Tratamento de dados

Fez-se uma análise descritiva dos parâmetros acústicos mensurados em cada laboratório de informática com VDT, através de medidas de tendência central e elaboração de gráficos lineares, para visualizar os níveis de ruído equivalente em ponderação "A" (L_{Aeq}), expressos em dB(A), e que devem ser menores que 40 dB(A) para conforto e menores que 50 dB(A) para serem considerados aceitáveis segundo NBR 10152/1987.

Para comparar os L_{Aeq} entre os laboratórios de informática de centros de tecnologia de cada IES, construiu-se um modelo linear generalizado (MLG) através do *software* R (DALGAARD, 2008; DOBSON, BARNETT, 2008), onde a variável dependente é L_{Aeq} e variável independente foi definida como I_k , representando cada laboratório avaliado.

3.4 Medições técnicas

Os dados foram obtidos entre agosto de 2014 e agosto de 2016, durante a realização de experimentos em sala de aula, sendo uma sessão por dia, em três dias consecutivos.

Os parâmetros de conforto foram baseados na NBR 10152/1987 e as medições foram realizadas segundo as recomendações da NBR 10151/2000, a saber:

- Não devem ser efetuadas medições na existência de interferências audíveis advindas de fenômenos da natureza (por exemplo: trovões, chuvas fortes etc.);
- O tempo de medição deve ser escolhido de forma a permitir a caracterização do ruído em questão. A medição pode envolver uma única amostra ou uma sequência delas;
- As medições em ambientes internos devem ser efetuadas a uma distância de no mínimo 1 m de quaisquer superfícies, como paredes, teto, pisos e móveis;
- As medições devem ser efetuadas nas condições de utilização normal do ambiente.

3.5 Aparelho de medição

Para medir o nível de ruído equivalente, foi utilizado um analisador manual de som da marca Brüel & Kjær, modelo 2250-L (Figura 2), devidamente calibrado, apoiado em um tripé.

O equipamento é adequado para atender aos parâmetros normativos brasileiros em vigor para cálculo do L_{Aeq} , pois tem disponível a ponderação “A”; possui circuito de resposta lenta (*slow*), utilizado para medição de ruídos contínuos ou intermitentes; e faixa de medição entre 16.4 e 140 dB(A), apropriada para este trabalho.

Figura 2: Brüel & Kjær 2250-L



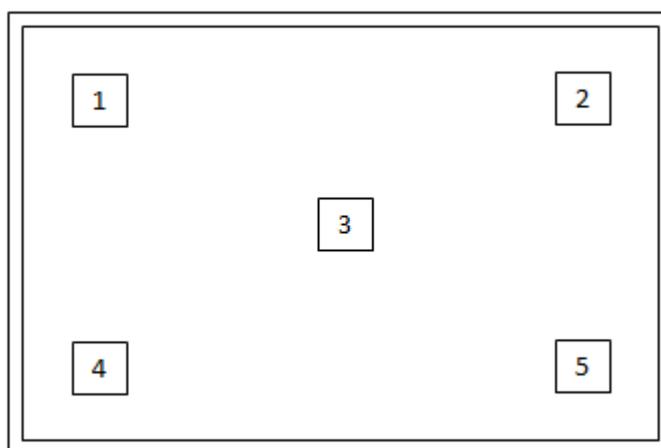
Fonte: Dados da pesquisa (2016)

3.6 Ambientes avaliados

As principais características de infraestrutura dos seis ambientes estudados são descritas a seguir. Todos os laboratórios de informática possuem sistema de iluminação e climatização tipo *split*, os quais possuem nível de ruído entre 21 e 43 dB(A) na unidade interna, a depender do modo de funcionamento selecionado, e 46 dB(A) na unidade externa (FUJITSU, 2016). Possuem também sistemas de rede WiFi, data show, computadores, VDTs e impressoras.

As medições nos seis ambientes foram realizadas em cinco pontos (Figura 3). Os pontos de medição estavam a 1 metro de qualquer superfície e distantes entre si em pelo menos 0,5 m, conforme NBR 10151/2000.

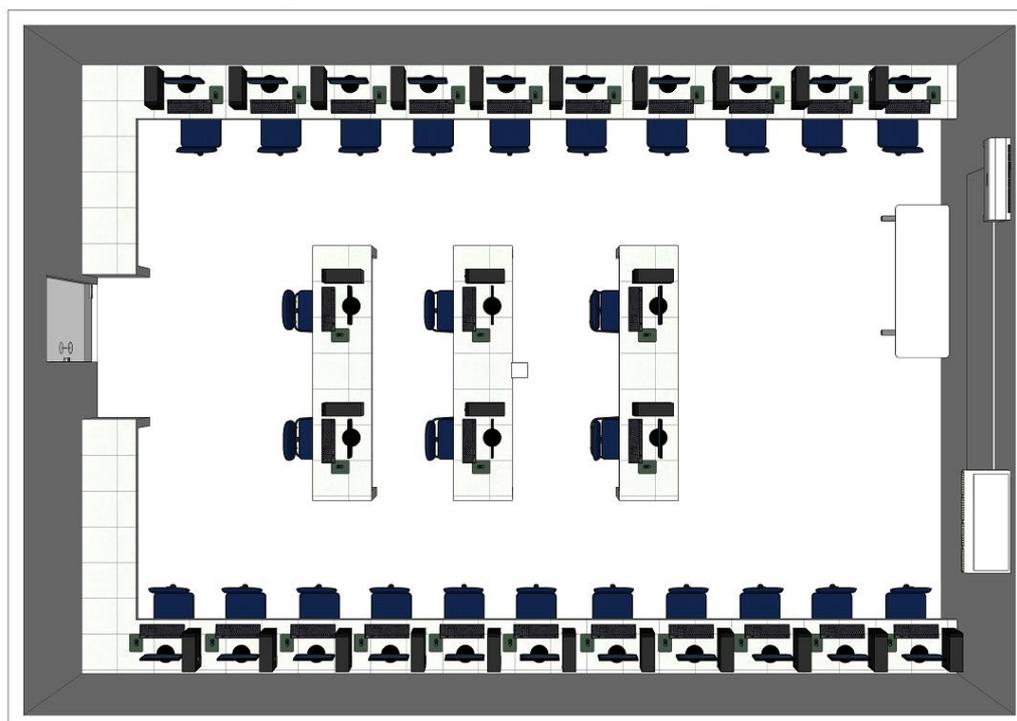
Figura 3: Pontos de medição



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

3.6.1 Laboratório de informática – Instituição A

A instituição A é uma instituição de ensino superior (IES) pública, localizada na cidade de João Pessoa, Paraíba. A sala de aula analisada possui 65,96 m², é climatizada e tem 27 estações distribuídas em cinco bancadas, sobre as quais estão o VDT, teclado, mouse e gabinete. Seu layout é reproduzido na Figura 4. As medições foram realizadas nos dias 18, 19 e 20/07/2016, iniciando às 10h30 e prosseguindo até as 13h00.

Figura 4: Laboratório da Instituição A

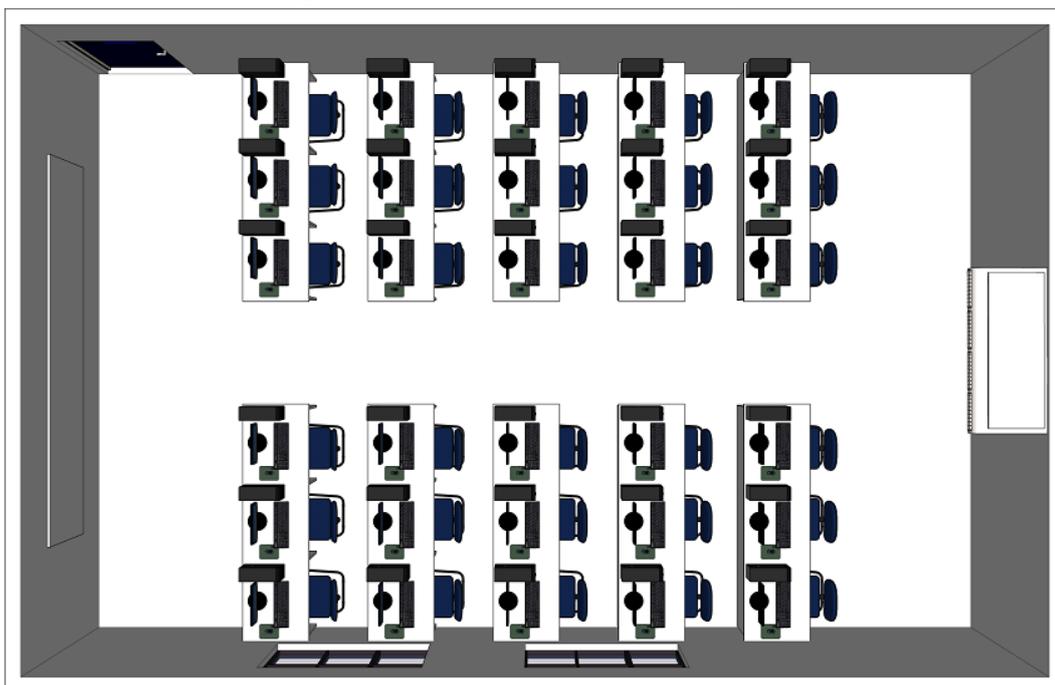
Fonte: Dados da pesquisa (2016)

3.6.2 Laboratório de informática – Instituição B

A instituição B é uma IES privada, localizada na cidade de João Pessoa, Paraíba. A sala de aula tem 76,44 m², é climatizada e tem 12 bancadas, sobre as quais estão o VDT, teclado, mouse e gabinete. No total, são 36 estações. Seu layout é reproduzido na Figura 5. Neste laboratório, as medições foram realizadas entre 25 e 27/08/2014, entre as 13h15 e as 15h00.

3.6.3 Laboratório de informática – Instituição C

A instituição C é uma universidade pública localizada na cidade de Manaus, Amazonas. A sala de aula analisada tem 69,79 m², é climatizada e tem 10 bancadas, cada uma com três computadores, totalizando 30 estações. Seu layout é reproduzido na Figura 6. As medições foram realizadas nos dias 01 a 03/08/2016, entre as 16h00 e as 19h00.

Figura 5: Laboratório da Instituição B

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

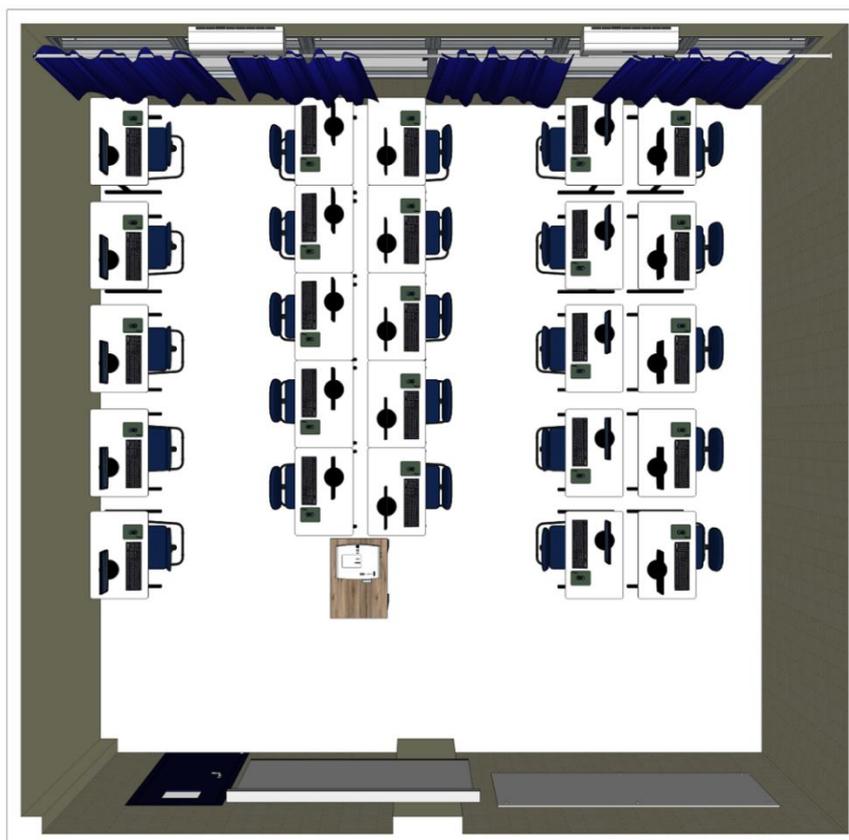
Figura 6: Laboratório da Instituição C

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

3.6.4 Laboratório de informática – Instituição D

A instituição D é uma universidade pública localizada na cidade de Florianópolis, Santa Catarina. A sala de aula analisada tem 49,7 m², é climatizada e possui 25 estações compostas de mesa e cadeira, com VDT, teclado e mouse sobre a mesa. Seu layout é reproduzido na Figura 7. As medições foram realizadas entre os dias 21 e 23/03/2016, entre as 15h00 e as 19h00.

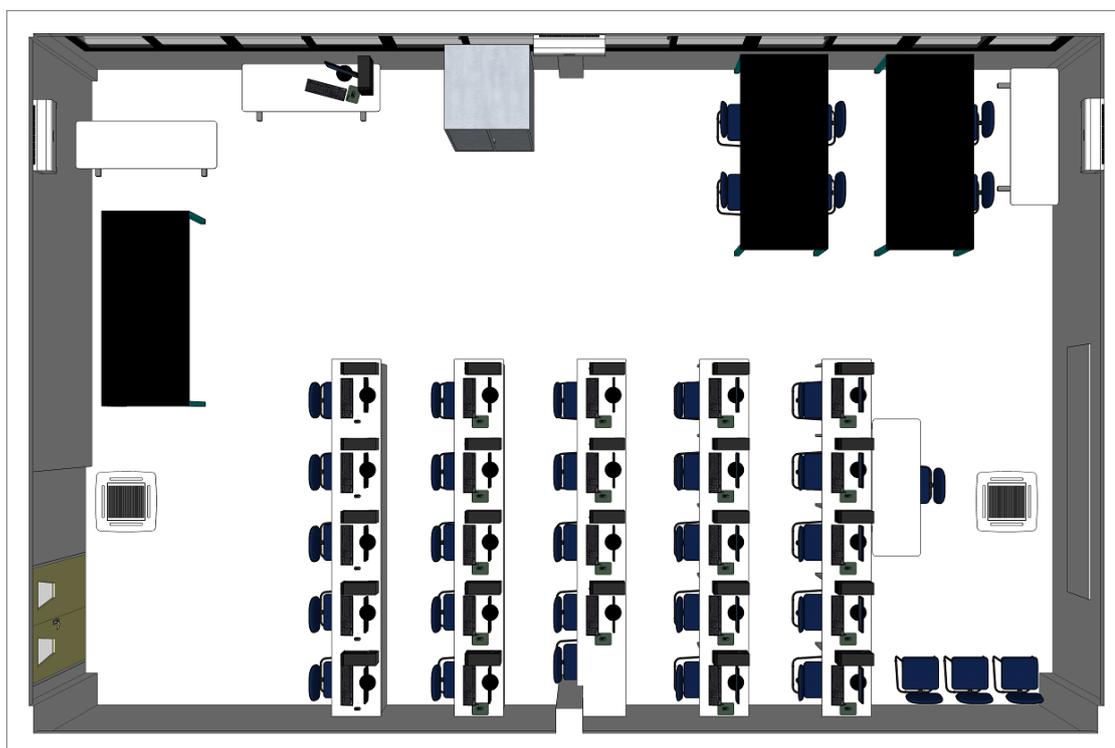
Figura 7: Laboratório da Instituição D



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

3.6.5 Laboratório de informática – Instituição E

A instituição E é uma universidade pública localizada na cidade de Petrolina, Pernambuco. A sala de aula estudada tem 100 m², é climatizada e possui 25 estações compostas de mesa e cadeira, com VDT, teclado e mouse sobre a mesa. Seu layout é reproduzido na Figura 8. As medições foram realizadas nos dias 23, 24 e 25/05/2016, entre as 10h30 e as 13h00.

Figura 8: Laboratório da Instituição E

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

3.6.6 Laboratório de informática – Instituição F

A instituição F é uma universidade pública localizada na cidade de São Carlos, no estado de São Paulo. A sala de aula estudada tem 61,68 m², é climatizada e possui dez bancadas com quatro estações cada, totalizando 40 estações com VDT, teclado, mouse e gabinete. Seu layout é reproduzido na Figura 9. As medições foram realizadas nos dias 17, 18 e 19/11/2014, entre as 17h00 e as 19h00.

Figura 9: Laboratório da Instituição F



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

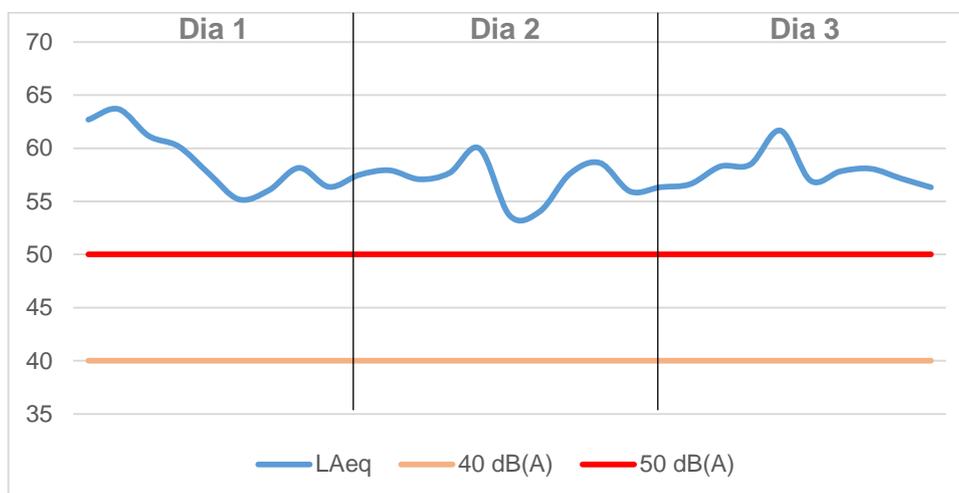
4.1 Análise descritiva dos resultados

Nesta seção, apresenta-se a análise descritiva dos parâmetros acústicos mensurados, levando-se em consideração as diretrizes estabelecidas em normas nacionais e internacionais. A seguir, os resultados serão discutidos individualmente para cada instituição. Todas as medições apresentadas são níveis de ruído equivalente (L_{Aeq}), cuja unidade é dB em ponderação A.

4.1.1 Laboratório de informática – Instituição A

Na instituição A, o L_{Aeq} mínimo foi 53,67 dB(A) e o máximo 63,68 dB(A). O ruído médio foi 57,89 dB(A) com desvio-padrão de 2,32 dB(A). Ratifica-se através do Gráfico 1 que todas as medições de ruído realizadas nessa instituição tiveram valores acima de 50 dB(A), limiar do nível de ruído considerado como desconfortável pela norma vigente brasileira.

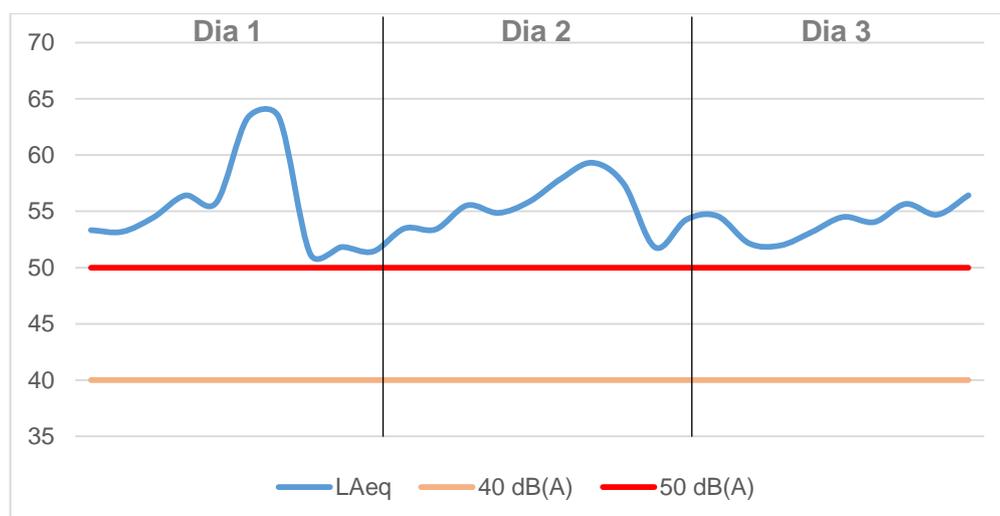
Gráfico 1: Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição A



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.1.2 Laboratório de informática – Instituição B

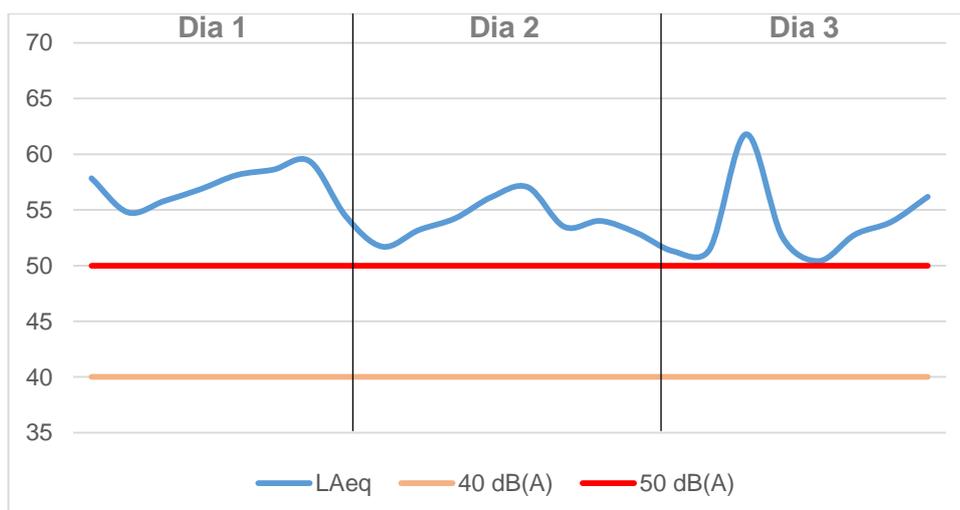
Nesta instituição, o L_{Aeq} mínimo foi 51,20 dB(A) e o máximo 63,34 dB(A). O ruído médio foi 55,01 dB(A) com desvio-padrão de 3,04 dB(A). Assim como na instituição A, todas as medições de ruído realizadas na instituição B apresentaram valores acima de 50 dB(A), portanto, consideradas desconfortáveis segundo a NBR 10152/1987 (Gráfico 2).

Gráfico 2: Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição B

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.1.3 Laboratório de informática – Instituição C

Nas medições da instituição C, o L_{Aeq} mínimo foi 50,41 dB(A) e o máximo 61,79 dB(A). O ruído médio foi 54,96 dB(A) com desvio-padrão de 2,87 dB(A). Observa-se no Gráfico 3 que todas as medições de ruído realizadas na instituição C tiveram valores acima de 50 dB(A), limiar do nível de ruído considerado como desconfortável pela norma vigente brasileira.

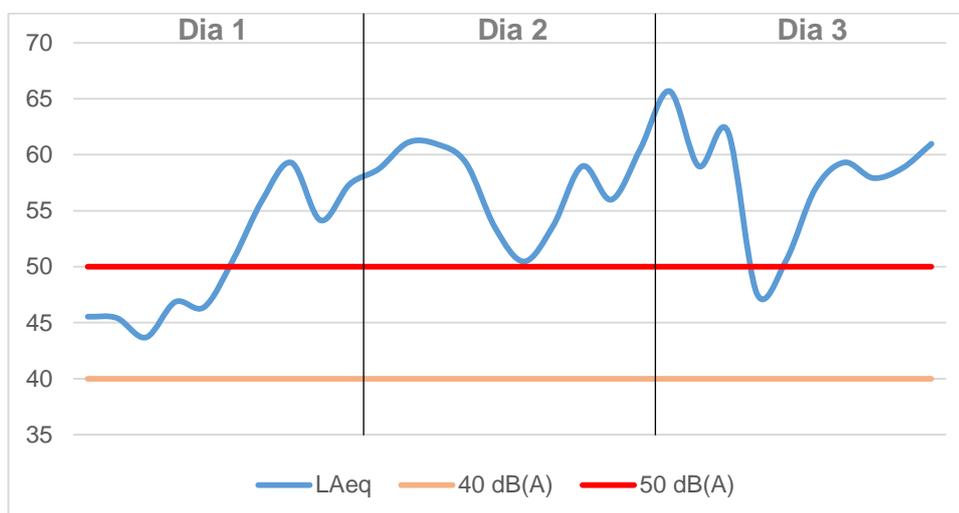
Gráfico 3: Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição C

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.1.4 Laboratório de informática – Instituição D

Nas medições da instituição D, o L_{Aeq} mínimo foi 43,69 dB(A) e o máximo 65,68 dB(A). O ruído médio foi 55,25 dB(A) com desvio-padrão de 5,89 dB(A). Observa-se no Gráfico 4 que a instituição apresenta algumas medidas de ruído com valores entre 40 e 50 dB(A) nos dias 1 e 3. Esses valores representam apenas 20% do total das medidas, os quais são considerados aceitáveis pela NBR 10152/1987; entretanto, 80% das medições apresentam nível de ruído desconfortável. No dia 1, a ocorrência de ruído entre 40 e 50 dB(A) foi mais acentuada e, no dia 3, menos acentuada.

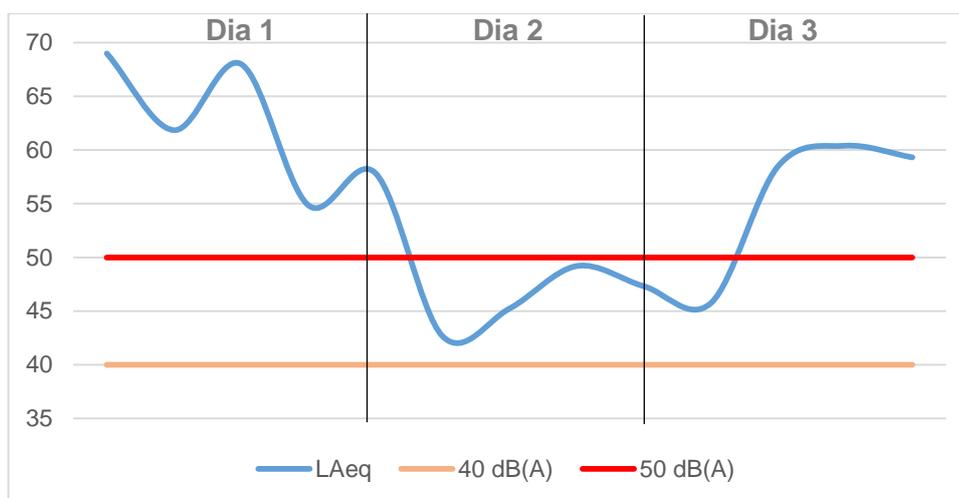
Gráfico 4: Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição D



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.1.5 Laboratório de informática – Instituição E

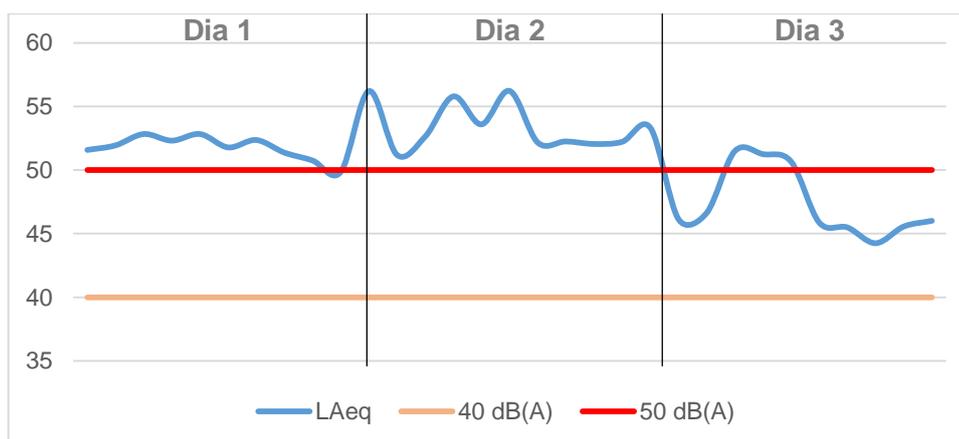
Na instituição E, o L_{Aeq} mínimo foi 42,66 dB(A) e o máximo 68,98 dB(A). O ruído médio foi 55,37 dB(A) com desvio-padrão de 8,68 dB(A). Para essa instituição, algumas medidas de ruído dos dias 2 e 3 tiveram valores entre 40 e 50 dB(A) (Gráfico 5), representando apenas 38,5% do total. Porém, 61,5% das medições de ruído permanecem acima de 50 dB(A).

Gráfico 5: Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição E

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.1.6 Laboratório de informática – Instituição F

Na instituição F, o L_{Aeq} mínimo foi 44,25 dB(A) e o máximo 56,22 dB(A). O ruído médio foi 50,92 dB(A) com desvio-padrão de 3,22 dB(A). Para essa instituição, 25,8% do total das medidas de ruído tiveram valores entre 40 e 50 dB(A), todas essas sendo registradas no dia 3 (Gráfico 6). Entretanto, 74,2% das medições apresentaram nível de ruído acima de 50 dB(A).

Gráfico 6: Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição F

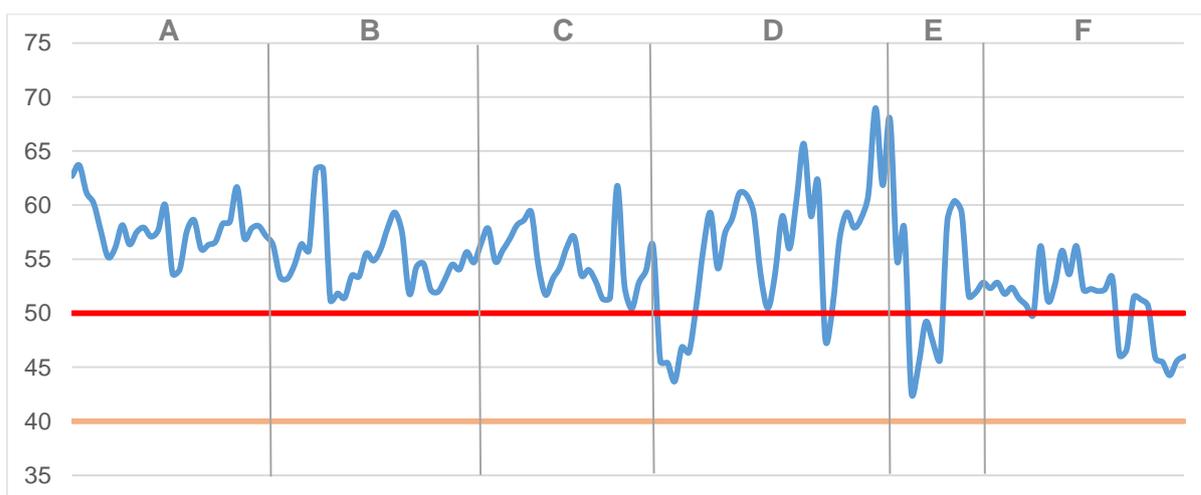
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

4.1.7 Panorama nacional

Os valores de L_{Aeq} variaram entre 42,66 e 68,98 dB(A), com média 54,80 dB(A) e desvio-padrão 4,80 dB(A). Com relação aos parâmetros estabelecidos na

NBR 10152/1987, os valores encontrados estão acima do previsto na norma, que estabelece que o nível de ruído para conforto em salas de aula é de até 40 dB, e o nível de ruído aceitável é até 50 dB. Porém, como se observa no Gráfico 7, as instituições D, E e F apresentaram alguns L_{Aeq} entre 40 e 50 dB(A).

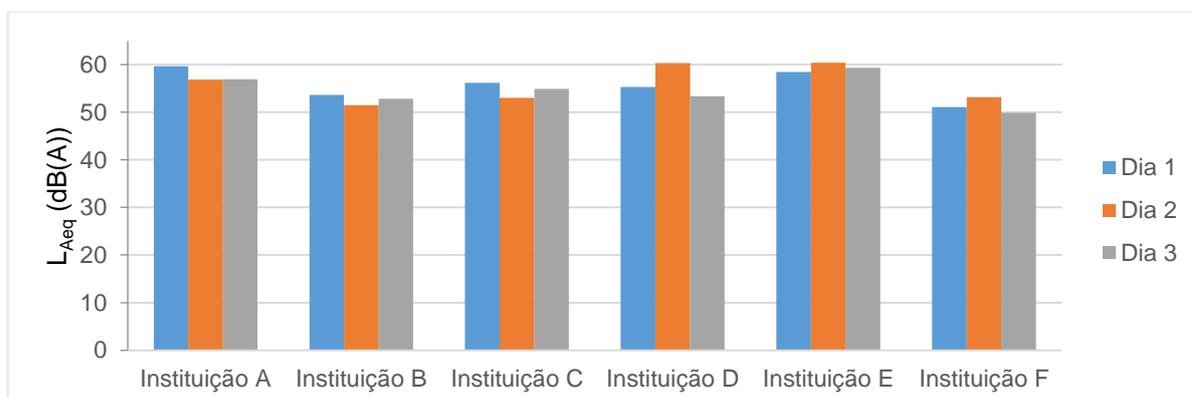
Gráfico 7: Níveis de ruído equivalente, em dB(A), das salas das seis instituições



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Constata-se, assim, que nenhum dos laboratórios analisados apresenta níveis de ruído considerados confortáveis segundo a regulamentação da NBR 10152/1987. Tomando-se a norma americana (ANSI S12.60-2002) e as diretrizes da OMS (1999; 2016a), os níveis de ruído continuam desconformes, visto que estas estabelecem 35 dB(A) como valor máximo. E, no sentido de corroboração, pode-se ver no Gráfico 8 que os níveis de ruído equivalente médios para cada dia de medição de cada instituição foram acima de 50 dB.

Gráfico 8: Níveis de ruído equivalente médio por dia, em dB(A)



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

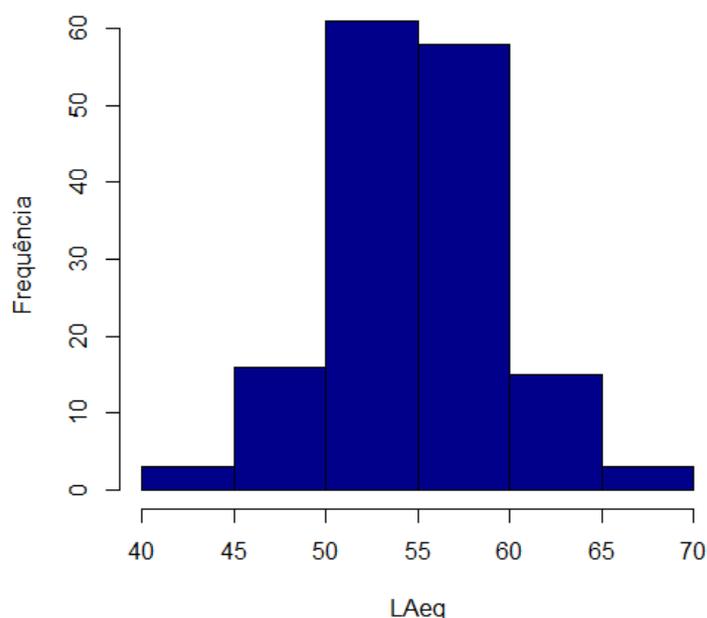
4.2 Discussão dos resultados

Como se constatou que em alguns laboratórios de informática das respectivas instituições há diferentes níveis de ruído em dias específicos dentro e/ou fora da faixa ideal segundo a NBR 10152/1987, realizou-se uma análise dos dados com o objetivo de realizar uma modelagem matemática comparativa dos níveis de ruído dos laboratórios das seis instituições. Ademais, visto que houve diferenças entre os L_{Aeq} , mesmo os laboratórios tendo edificações similares, foi feita uma avaliação dos aspectos arquitetônicos dos ambientes, para investigar a influência de tais características nos níveis de ruído.

4.2.1 Análise com o software R

Os dados são contínuos e o histograma apresentado no Gráfico 9 mostra que os valores de ruído equivalente estão concentrados entre 50 e 60 dB(A). Aplicando-se os testes de normalidade de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov, nos quais a hipótese nula (H_0) é a normalidade dos dados, os p-valores foram, respectivamente, 0,07616 e 0,09593. Após a aplicação desses dois testes, conclui-se que os dados têm distribuição normal.

Gráfico 9: Histograma - L_{Aeq} nos seis laboratórios



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

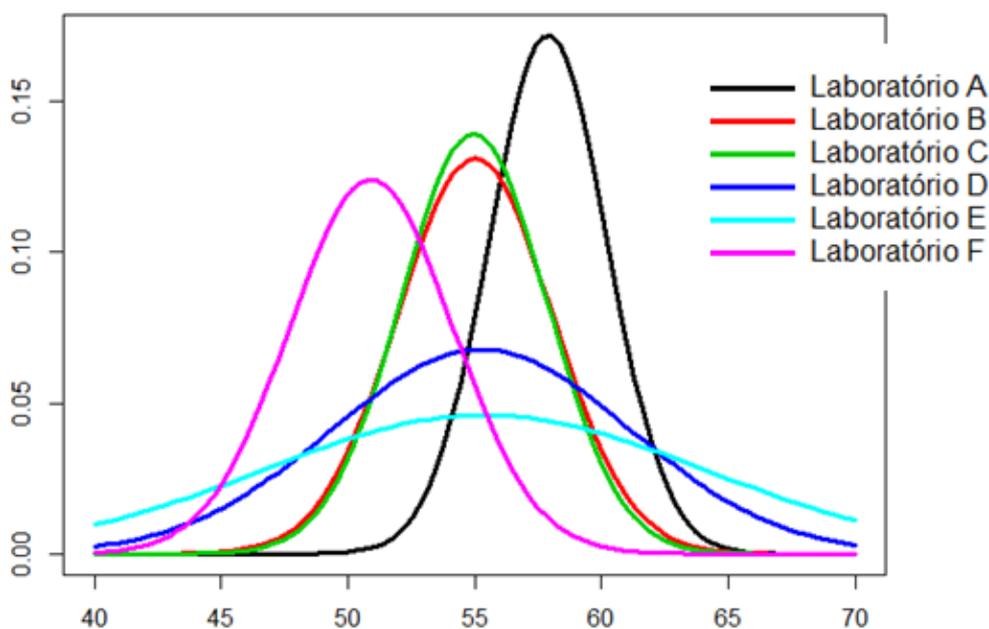
Em seguida, o teste de normalidade foi aplicado para os dados de cada laboratório, através do teste de Kolmogorov-Smirnov. Foi calculada também a probabilidade de o ruído ser menor do que 50 dB(A), $P(L \leq 50)$. A Tabela 4 apresenta esta probabilidade e o p-valor referente a cada instituição. Observa-se que a probabilidade de o nível de ruído equivalente ser aceitável é pequena para os seis laboratórios, principalmente para as instituições A, B e C, fato corroborado pelas curvas de densidade de probabilidade apresentadas no Gráfico 10 e pelos resultados obtidos na análise descritiva.

Tabela 4: p-valor para a distribuição Normal

| Laboratório de informática | p-valor | P(L ≤ 50) |
|----------------------------|---------------------|-----------|
| | Distribuição Normal | |
| A | 0,3526 | 0,0336% |
| B | 0,526 | 4,9679% |
| C | 0,8383 | 4,1945% |
| D | 0,4284 | 18,6478% |
| E | 0,8648 | 26,7808% |
| F | 0,126 | 38,7294% |

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Gráfico 10: Curvas de densidade de Probabilidade



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

O modelo matemático criado é um modelo linear generalizado (MLG) que realiza uma comparação entre os níveis de ruído dos laboratórios de informática de CT em IES. O L_{Aeq} é a variável dependente e os laboratórios de informática, a variável independente. Para uma variável dependente com distribuição normal, a modelagem pode ser realizada utilizando-se quatro funções de ligação: função identidade, log, inversa e sqrt (raiz quadrada). Para escolher a melhor função de ligação, calcula-se o Pseudo-R2 de cada modelo, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Pseudo-R2 para cada modelo

| Modelo | Distribuição | Função de ligação | Pseudo-R2 (r2CU) |
|--------|--------------|-------------------|------------------|
| m1 | Normal | <i>identity</i> | 0,21183201 |
| m2 | Normal | <i>log</i> | 0,21183201 |
| m3 | Normal | <i>inverse</i> | 0,21183201 |
| m4 | Normal | <i>sqrt</i> | 0,21183201 |

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Como os Pseudo-R2 são iguais para as quatro funções de ligação, escolhe-se representar os dados utilizando a função identidade. O modelo linear generalizado com a função de ligação identidade pode ser escrito como:

$$L_{Aeq} = \beta_0 + \sum_{k=1}^5 \beta_k I_k \quad (3)$$

sendo:

L_{Aeq} (nível de ruído equivalente) a variável dependente;

I_k (instituição) a variável independente;

$k = 1, \dots, 5$;

$I_k = 1$ se o laboratório pertence à instituição k ;

$I_k = 0$ se o laboratório não pertence à instituição k , mas à instituição 0 (de referência).

O modelo toma um laboratório como referência e faz a comparação dos seus níveis de ruído com os dos outros laboratórios, dois a dois. O parâmetro β_k representa quantos decibéis espera-se que o registro do nível de ruído equivalente do laboratório da instituição I_k seja superior (ou inferior, se o valor for negativo) àquele do laboratório usado como referência para comparação.

A Tabela 6 apresenta os valores esperados (em dB(A)) para o nível de ruído equivalente dos seis laboratórios considerados no estudo, bem como a diferença

esperada em relação aos demais. O L_{Aeq} é representado pelos interceptos nos modelos de regressão usados, apresentados na diagonal principal da tabela, enquanto as demais células indicam a diferença esperada em relação aos outros laboratórios. Os laboratórios das instituições A e F foram aqueles que apresentaram maior número de diferenças significativas quando comparados aos demais.

Tabela 6: Valor esperado do L_{Aeq} para os laboratórios de referência e a diferença esperada em relação aos demais

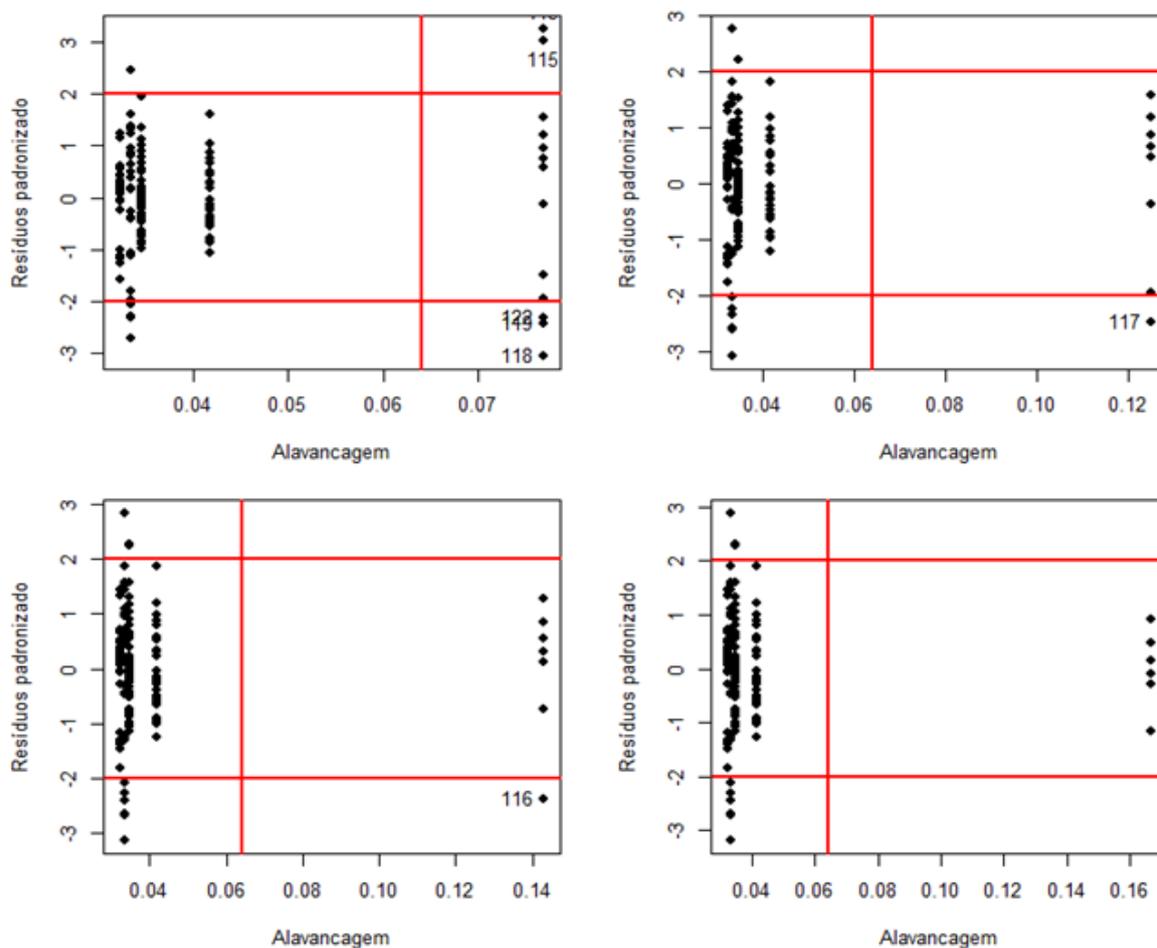
| Categoria sob comparação | Categoria de referência | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | A | B | C | D | E | F |
| A | 57,89*** | 2,87* | 2,93* | 2,64* | 2,51 | 6,97*** |
| B | -2,87* | 55,01*** | 0,06 | -0,23 | -0,36 | 4,09*** |
| C | -2,93* | -0,06 | 54,96*** | -0,29 | -0,42 | 4,03*** |
| D | -2,64* | 0,23 | 0,29 | 55,24*** | -0,13 | 4,32*** |
| E | -2,51 | 0,36 | 0,42 | 0,12 | 55,37*** | 4,45** |
| F | -6,97*** | -4,09*** | -4,03*** | -4,32*** | -4,45** | 50,92*** |

Legenda: Significância: * $<0,05$ ** $<0,01$ *** $<0,001$

Como se observa na Tabela 6, o modelo que tem o laboratório de informática da instituição F como referência tem a estimação de parâmetros com maior significância, portanto, ele será usado para a análise. Embora os parâmetros deste modelo tenham significância de 0,1%, o Pseudo-R2 calculado (0,21183201) não indica boa consistência; assim, para se ter uma maior confiabilidade das ferramentas de inferência utilizadas, fez-se uma análise de resíduos com o intuito de obter um modelo mais ajustado. A análise de resíduos consistiu nas seguintes etapas: avaliação de pontos de alavanca, adequação da função de variância, adequação da distribuição de probabilidade usada para modelar a variável dependente e, por fim, adequação da função de ligação utilizada.

A Figura 10 mostra as etapas de exclusão dos pontos de alavanca. Foram retirados sete pontos ao total, deixando a amostra com 149 valores, ou seja, 95,5% do seu tamanho original. Afirma-se, então, que mesmo após a retirada destes sete pontos, a amostra continua representando os dados de forma satisfatória.

Figura 10: Análise de resíduos – Pontos de alavanca



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

A Tabela 7 apresenta os parâmetros estimados pelo modelo após a exclusão dos pontos de alavanca. Cinco dos seis parâmetros estimados tiveram seus valores mantidos. A estimação do parâmetro referente ao laboratório da instituição E (destacado na Tabela 7) teve seu valor alterado e passou a ter maior significância.

Tabela 7: Parâmetros estimados antes e após exclusão dos pontos de alavanca

| Laboratório de Referência: F | | |
|------------------------------|-------------------|-----------------|
| Laboratório sob comparação | Antes da exclusão | Após a exclusão |
| A | 6,97*** | 6,97*** |
| B | 4,09*** | 4,09*** |
| C | 4,03*** | 4,03*** |
| D | 4,32*** | 4,32*** |
| E | 4,45** | 7,87*** |
| F | 50,92*** | 50,92*** |

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

O Pseudo-R2 foi calculado novamente para o modelo ajustado (Tabela 8). Como seu valor permanece baixo mesmo após a exclusão dos pontos de alavanca, foram realizadas outras análises para verificar a consistência do modelo.

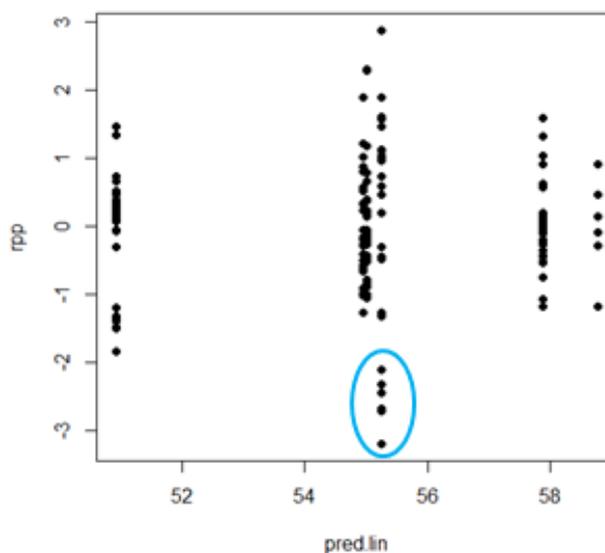
Tabela 8: Pseudo-R2 antes e após exclusão dos pontos de alavanca

| Antes da exclusão | Após a exclusão |
|-------------------|-----------------|
| 0,21183201 | 0,30381238 |

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

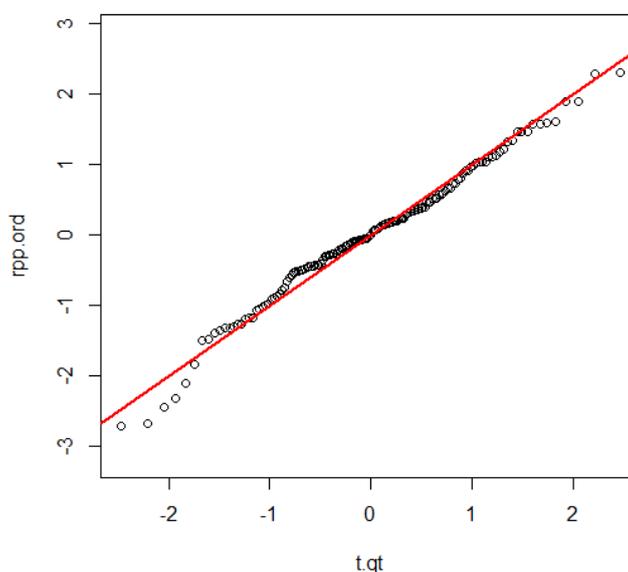
Primeiramente, fez-se a análise da função de variância. Como se nota no Gráfico 11, para a maior parte dos pontos, há uma variação aproximadamente igual, a não ser pelos cinco pontos destacados. Além disso, não há uma tendência central. A homogeneidade na distribuição dos pontos é um indicativo de adequação da função de variância. Portanto, pode-se dizer que há uma adequação razoável.

Gráfico 11: Análise da função de variância



Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Em seguida, visto que os dados de ruído tem comportamento gaussiano, gerou-se uma sequência de números aleatórios de uma distribuição normal padrão e ordenaram-se as componentes do desvio padronizadas. Foi gerado o gráfico QQ-Plot apresentado (Gráfico 12), onde os pontos serem próximos da reta indica adequação da distribuição. Portanto, a distribuição escolhida pode ser considerada adequada.

Gráfico 12: QQ-Plot

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Como última ferramenta de análise, foi investigada a adequação da função de ligação. Segundo Cordeiro e Demétrio (2008), um dos mais simples métodos formais para verificar a adequação da função de ligação utilizada consiste em se adicionar o quadrado do preditor linear (η^2) como uma variável explanatória extra e examinar a mudança ocorrida no desvio, o que equivale ao teste da razão de verossimilhanças. Se ocorrer uma diminuição drástica, há evidência de que a função de ligação é insatisfatória. Os resultados mostraram que os desvios residuais permaneceram iguais para o modelo original e para o modelo alterado, portanto, a função de ligação identidade é adequada (Tabela 9).

Tabela 9: Teste ANOVA – Desvios residuais

| Sem η^2 | Com η^2 |
|--------------|--------------|
| 1943,5 | 1943,5 |

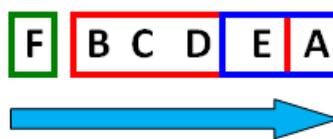
Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Sobre o ajuste de modelos lineares generalizados, Cordeiro e Demétrio (2008) ressaltam que se a análise do desvio apresentar um resultado favorável para o modelo em investigação, então o modelo ajusta-se razoavelmente aos dados. Sendo assim, conclui-se que o uso do teste da razão de verossimilhança na análise do desvio é suficiente para julgar um ajuste como razoável. Portanto, apesar do

Pseudo-R2 não indicar consistência do modelo, este pode ser considerado razoavelmente consistente.

Considerando que a consistência do modelo pode ser considerada razoável e tomando as informações fornecidas pelos modelos de regressão, verifica-se que quanto à acústica ambiental é possível definir três grupos (Figura 11). Os laboratórios B, C e D apresentam níveis de ruído equivalente mais baixos (em geral, com nível esperado de ruído inferior em valores entre 2 e 3 dB(A) em relação ao laboratório A). Para o laboratório E, também se espera valores mais baixos, sendo a diferença esperada em relação ao laboratório A igual a 2,5 dB(A). Porém, para aquele laboratório não é possível admitir como significativa a diferença, provavelmente devido ao pouco número de registros (pouca informação para se inferir como sendo significativa a diferença de 2,5 dB(A)).

Figura 11: Laboratórios divididos em grupos



O laboratório F apresentou níveis de ruído equivalente bem inferiores aos demais, sendo possível admitir essa diferença como significativa até mesmo para o laboratório E. Espera-se que essa diferença esteja entre 4 e 5 dB(A) quando se compara com os laboratórios B, C, D e E, e que seja superior a 6 dB(A) quando comparado com o laboratório A.

A Tabela 10 apresenta o intervalo de confiança para os parâmetros do modelo cuja categoria de referência (laboratório da instituição F) apresentou o maior número de diferenças significativas em relação aos demais laboratórios. Nessa tabela observa-se que admitindo uma margem de erro (com base nas variações registradas no L_{Aeq}), os níveis de ruído equivalente podem chegar a níveis relativamente altos para as salas de laboratório, podendo alcançar 61,61 dB(A) ($52,45+9,16$) para o laboratório A; 58,74 dB(A) para o laboratório B; 58,79 dB(A) para o laboratório C; 58,95 dB(A) para o laboratório D; 59,71 dB(A) para o laboratório E. Assim, as estimativas de limite superior do intervalo de confiança admitem como plausíveis valores de L_{Aeq} próximos a 60 dB(A), resultado que se aproxima do encontrado na análise descritiva.

Tabela 10: Intervalo de confiança do modelo ajustado com a instituição F como referência

| Parâmetro | Intervalo de confiança | |
|------------|------------------------|-----------|
| | 2,50% | 97,50% |
| Intercepto | 49,396135 | 52,447736 |
| A | 4,771644 | 9,161037 |
| B | 1,896127 | 6,285519 |
| C | 1,724519 | 6,34411 |
| D | 2,148016 | 6,499447 |
| E | 1,644846 | 7,258976 |

Fonte: Elaborado pela autora (2016)

Os resultados obtidos no estudo da estatística descritiva e corroborados pela modelagem matemática mostraram que houve diferença entre os níveis de ruído dos laboratórios de informática dos CT das IES. Como descrito na seção 3.5, em geral, os laboratórios possuem estruturas arquitetônicas similares. Como podem existir pequenas diferenças entre as características construtivas das edificações – as quais podem influenciar positiva ou negativamente em seu desempenho acústico –, foi feita uma avaliação dos aspectos arquitetônicos dos laboratórios.

4.2.2 Análise dos aspectos arquitetônicos

A investigação dos seus aspectos arquitetônicos foi feita para cinco dois seis laboratórios (Quadro 2).

Quadro 2: Aspectos arquitetônicos dos laboratórios de informática

| Laboratório | Paredes | Cobertura | Janelas |
|-------------|-------------------------------------|--|----------------------|
| A | Tijolos de 6 furos rebocados | Coberta de fibrocimento (20cm de espessura) com forro de laje mista | Não possui |
| C | Tijolos de 8 furos | Coberta de fibrocimento com forro de laje mista, cortiça utilizada internamente à laje | 32,35 m ² |
| D | Tijolos maciços aparentes | Coberta de fibrocimento com forro de laje mista | 10,35 m ² |
| E | Tijolos de 6 furos rebocados | Coberta de fibrocimento com forro de laje mista | 15,21 m ² |
| F | Alvenaria com revestimento cerâmico | Laje nervurada de concreto | 7 m ² |

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Para avaliar se as paredes, coberturas e janelas podem influenciar nos níveis de ruído equivalente, deve-se saber os seus coeficientes de absorção acústica. O coeficiente (ou índice) de absorção pode variar entre 0 e 1 para materiais lisos e, para materiais em relevo, pode ultrapassar 1. Para baixas frequências, um material é considerado um bom absorvedor se seu coeficiente de absorção for 0,6 ou mais. Para altas frequências, esse valor sobe para 0,95 (VALLE, 2009).

Tabela 11: Coeficientes de absorção acústica

| Materiais | Frequências | | | | | |
|---|-------------|------|-------|-------|------|------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Parede de alvenaria com emboço | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,03 |
| Parede tijolos rebocada com cal | 0,018 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| Reboco liso | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,06 |
| Reboco áspero, cal | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,07 |
| Concreto aparente | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| Teto pesado suspenso, de gesso | 0,02 | - | 0,03 | - | 0,05 | - |
| Forro de laje nervurada | 0,01 | 0,01 | 0,015 | 0,015 | 0,02 | 0,02 |
| Superfície de concreto | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,07 |
| Revestimento de pedras sintéticas | 0,02 | - | 0,05 | - | 0,07 | - |
| Uma pessoa com cadeira | 0,33 | - | 0,44 | - | 0,46 | - |
| Poltrona estofada, vazia, coberta de tecido | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,34 | 0,34 |
| Janela aberta | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Vidraça de janela | - | 0,04 | 0,03 | 0,02 | - | - |
| Portas de madeira, fechadas | 0,14 | - | 0,06 | - | 0,10 | - |
| Placas de cortiça sobre concreto | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |

Fonte: Jadir e Lima (2009); NBR 12179/1992; Valle (2009); Zannin, Ferreira e Sant'Ana (2009)

Para ambientes de ensino como os laboratórios, as frequências ficam em torno de 500, 1000 e 2000 Hz. Pelos dados apresentados na Tabela 11, observa-se que os coeficientes de absorção acústica para paredes de alvenaria e paredes de tijolos têm valores bastante próximos. Em relação às janelas, como os laboratórios possuem sistema de climatização tipo *split*, elas permanecem fechadas durante as atividades laboratoriais. O laboratório da instituição A não possui janelas, mas, como apresentado na Tabela 11, os coeficientes de absorção de uma parede de tijolos rebocados e de uma vidraça de janela também possuem valores próximos. Por fim, o laboratório F tem cobertura de laje nervurada, enquanto os laboratórios A, C, D e E têm cobertura de laje mista. Mas os L_{Aeq} elevados poderão estar vinculados aos

baixos coeficientes de absorção dos materiais presentes nos laboratórios, que tem um valor médio de 0,024, portanto estão inferiores a 1, conforme Valle (2009).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comunicação é fundamental para o processo de ensino-aprendizagem e o ruído pode afetar este processo e até mesmo a saúde humana, o que ratifica a importância da análise do ruído em salas de aula laboratoriais de instituições de ensino superior.

Realizou-se um estudo dos níveis de ruído equivalente em seis laboratórios de informática de Centros de Tecnologia de Instituições de Ensino Superior, e os resultados da análise descritiva dos dados mostraram que as medições realizadas nos laboratórios apresentaram níveis de ruído equivalente sempre superiores 50 dB(A) conforme predizem as normas NBR 10152/1987, ANSI S12.60-2002 e as diretrizes da Organização Mundial de Saúde.

Um modelo matemático foi desenvolvido para comparar os níveis de ruído entre os laboratórios de informática das respectivas instituições. Como o laboratório da instituição F obteve o nível de ruído menor, tomou-se o mesmo como um fator referencial. Comparando este com os demais laboratórios, o laboratório da instituição A foi o que mais apresentou diferenças significativas, superando em 6,97 dB(A) o laboratório da instituição F, isto é, alcançou 57,89 dB(A), o que corrobora as análises descritivas realizadas. Mas esta elevação poderá estar vinculada aos baixos coeficientes de absorção (em média 0,024) das características arquiteturais dos laboratórios, os quais estão inferiores a 1, conforme Valle (2009).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI S12.60-2002**: Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools. New York: Acoustical Society of America, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10151**: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

_____. **NBR-10152**: Níveis de ruído para o conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

_____. **NBR-12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BERNARDI, N. **Avaliação da interferência comportamental do usuário para a melhoria do conforto ambiental em espaços escolares**: estudo de caso em Campinas – SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Campinas: Unicamp, 2001. Disponível em:
<<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000220600&fd=y>>. Acesso em 03 ago. 2016.

BRASIL. **NR 15**: Atividades Insalubres. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-15-atividades-e-operacoes-insalubres>>. Acesso em: 26 ago. 2016.

_____. **Ensino superior registra mais 7,3 milhões de estudantes**. Portal Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/educacao/2014/09/ensino-superior-registra-mais-de-7-3-milhoes-de-estudantes>>. Acesso em: 14 out. 2016.

BRITO, E. C. A. **Uma reflexão sobre o conforto acústico em ambiente universitário**. Dissertação (Mestrado em Estudos Interdisciplinares sobre a Universidade). Universidade Federal da Bahia, 2016.

CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. 2. ed. Brasília: Thesaurus, 2010.

CORDEIRO, G. M.; DEMÉTRIO, C. G. B. **Modelos lineares generalizados e extensões**. Piracicaba: 2008.

COSTA, E. C. **Acústica técnica**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2003.

DALGAARD, P. **Introductory Statistics with R**. 2. ed. Dinamarca: Springer, 2008.

DOBSON, A. J.; BARNETT, A. G. **An Introduction to Generalized Linear Models**. 3. ed. Estados Unidos: CRC Press, 2008.

EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK (EU-OSHA). **Noise in figures**. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities, 2005. 116 pp.

FUJITSU. **Ar condicionado Split High Wall Padrão ASBG09LMCA**. Fujitsu General, 2016. Disponível em: <<http://www.fujitsu-general.com/br/products/split/wall/std/asbg09lmca.html>>. Acesso em: 18 out. 2016.

FUNDACENTRO. **Norma de Higiene Ocupacional: Avaliação da exposição ocupacional ao ruído (NHO 01)**. Brasília, 2001.

GEMELLI, C. B. **Avaliação de Conforto Térmico, Acústico e Lumínico de Edificação Escolar com Estratégias Sustentáveis e Bioclimáticas**: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21926/000738694.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 03 ago. 2016.

HUANG, L.; ZHU, Y.; OUYANG, Q.; CAO, B. A study on the effects of thermal, luminous, and acoustic environments on indoor environmental comfort in offices. **Building and Environment**, vol. 49, pp. 304-309, 2012.

IIDA, I.; BUARQUE, L. **Ergonomia: Projeto e Produção**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2016.

KLEINER, M. **Acoustics and audio technology**. 3. ed. Estados Unidos: J. Ross Publishing, 2012. 456p.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura Escolar: o projeto do ambiente de ensino**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

JADIR, T. T.; LIMA, M. G. **Propriedades acústicas de materiais de construção para uso em edificações no entorno de aeroporto**. Anais do 15º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.bibl.ita.br/xvencita/CIVIL05.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2014. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Livro%20-%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20na%20Arquitetura.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

LIMA, K. C. S. **Avaliação da exposição ao ruído ocupacional em policiais militares do motopatrulhamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal da Paraíba, 2015.

MIGUEL, A. S. S. R. **Manual de Higiene e Segurança do Trabalho**. 13. ed. Portugal: Porto Editora, 2014.

MUELLER, C. M. **Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). São Paulo: USP, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-19092007-142731/pt-br.php>>. Acesso em: 03 ago. 2016.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Data and statistics**. Dinamarca, 2016b. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/data-and-statistics>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

_____. **Guidelines for community noise**. Suíça, 1999. Disponível em: <<http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf?ua=1>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

_____. **Noise**. Dinamarca, 2016a. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

PARK, S. B.; LUMPKIN, R. B.; LAURENT, K.; PEART, K. Environmental measurements of classrooms at the Florida A and M University. In: **Architectural Research Centers Consortium**, 2015, Chicago. *Proceedings...* Chicago: Perkins+Will, 2015, p. 434-441.

PELEGRÍN-GARCÍA, D.; BRUNSKOG, J. Speakers' comfort and voice level variation in classrooms: Laboratory research. **Journal of the Acoustic Society of America**, Estados Unidos, vol. 132, n. 1, pp. 249-260, jul. 2012. Disponível em: <<http://scitation.aip.org/content/asa/journal/jasa/132/1/10.1121/1.4728212>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

RABELO A. T. V.; SANTOS J. N.; OLIVEIRA R. C.; MAGALHÃES M. C. Efeito das características acústicas de salas de aula na inteligibilidade de fala dos estudantes. **CoDAS** [online]. 2014, vol.26, n.5, pp.360-366.

SENADO FEDERAL. Poluição sonora. **Jornal Especial Cidadania**, ed. 28, mai. 2004. Disponível em: <<https://www.senado.gov.br/noticias/jornal/cidadania/PoluicaoSonora/PoluicaoSonora.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2016.

SILVA, A. R.; ROCHA, R. R. Importância da acústica de salas de aula: fala (inclusive línguas) & música. In: SCHMID, A. L. (org.). **Espaços para aprender e ensinar música: construção e adequação**. Ministério da Cultura e Ministério da Educação, Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior - CAPES, Programa Pró-Cultura, Pacto Ambiental, 2013. p. 16-22.

VALLE, S. **Manual prático de acústica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Música & Tecnologia, 2009.

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

<<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/6993/6622>>. Acesso em: 29 out. 2016.

APÊNDICE I – Rotina utilizada no software R

```

# Carregando o quadro de dados
d=read.table(file.choose(),head=T);attach(d)

# Fazendo o histograma
hist(L,ylab="Frequência",xlab="LAeq",col="dark blue")

# Testes de normalidade
shapiro.test(L)
library(nortest)
lillie.test(L)
library(MASS)
fitdistr(L, "normal")
ks.test(L,"pnorm",mean=54.8005769,sd=4.7858090)

# Modelos lineares generalizados – Teste das funções de ligação
m1=glm(L~factor(I),family=gaussian(link="identity"))
m2=glm(L~factor(I),family=gaussian(link="log"))
m3=glm(L~factor(I),family=gaussian(link="inverse"))
m4=glm(L~factor(I),family=gaussian(link="sqrt"))

# Cálculo do Pseudo-R2
library(pscl)
pR2(m1);pR2(m2);pR2(m3);pR2(m4)

summary(m1);anova(m1,test="LRT")
summary(m2);anova(m2,test="LRT")
summary(m3);anova(m3,test="LRT")
summary(m4);anova(m4,test="LRT")

# Modelos com uma instituição como referência
m1=glm(L~factor(I,levels=c("A","B","C","D","E","F")),family=gaussian(link="identity"));
summary(m1)
m2=glm(L~factor(I,levels=c("B","A","C","D","E","F")),family=gaussian(link="identity"));
summary(m2)
m3=glm(L~factor(I,levels=c("C","B","A","D","E","F")),family=gaussian(link="identity"));
summary(m3)
m4=glm(L~factor(I,levels=c("D","B","C","A","E","F")),family=gaussian(link="identity"));
summary(m4)
m5=glm(L~factor(I,levels=c("E","B","C","D","A","F")),family=gaussian(link="identity"));
summary(m5)
m6=glm(L~factor(I,levels=c("F","B","C","D","E","A")),family=gaussian(link="identity"));
summary(m6)

# Probabilidade do ruído ser menor que 50 dB(A)
pnorm(50,mean(L[l=="A"]),sd(L[l=="A"]))
pnorm(50,mean(L[l=="B"]),sd(L[l=="B"]))
pnorm(50,mean(L[l=="C"]),sd(L[l=="C"]))
pnorm(50,mean(L[l=="D"]),sd(L[l=="D"]))

```

```
pnorm(50,mean(L[l=="E"]),sd(L[l=="E"]))
pnorm(50,mean(L[l=="F"]),sd(L[l=="F"]))
```

```
# Curvas de probabilidade
```

```
curve(dnorm(x,mean(L[l=="A"]),sd(L[l=="A"])),xlim=c(40,70),col=1,lwd=3)
curve(dnorm(x,mean(L[l=="B"]),sd(L[l=="B"])),xlim=c(40,70),add=T,col=2,lwd=3)
curve(dnorm(x,mean(L[l=="C"]),sd(L[l=="C"])),xlim=c(40,70),add=T,col=3,lwd=3)
curve(dnorm(x,mean(L[l=="D"]),sd(L[l=="D"])),xlim=c(40,70),add=T,col=4,lwd=3)
curve(dnorm(x,mean(L[l=="E"]),sd(L[l=="E"])),xlim=c(40,70),add=T,col=5,lwd=3)
curve(dnorm(x,mean(L[l=="F"]),sd(L[l=="F"])),xlim=c(40,70),add=T,col=6,lwd=3)
```

```
# Cálculo dos resíduos padronizados
```

```
library(boot)
rpp=glm.diag(m6)$rp
```

```
## Investigando a presença de pontos de influência inconsistentes
```

```
# Calculando as alavancagens
```

```
h=influence(m6)$hat
plot(h,rpp,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=5; n=length(L)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h,rpp,n=5)
```

```
# Ajustando o modelo, retirando os pontos de alavancagem identificados
```

```
d1=d[-c(113,115,118,119,122),]
m6=glm(L~factor(I,levels=c("F","B","C","D","E","A")),data=d1,family=gaussian(link="identity"))
rpp=glm.diag(m6)$rp
h=influence(m6)$hat
plot(h,rpp,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=5; n=length(L)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h,rpp,n=1)
```

```
# Ajustando o modelo sem os pontos de alavancagem identificados
```

```
d2=d1[-117,]
m6=glm(L~factor(I,levels=c("F","B","C","D","E","A")),data=d2,family=gaussian(link="identity"))
rpp=glm.diag(m6)$rp
h=influence(m6)$hat
plot(h,rpp,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=5; n=length(L)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
```

```

abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)
identify(h,rpp,n=1)

# Ajustando o modelo sem os pontos de alavancagem identificados
d3=d2[-116,]
m6=glm(L~factor(l,levels=c("F","B","C","D","E","A")),data=d3,family=gaussian(link="identity"))
rpp=glm.diag(m6)$rp
h=influence(m6)$hat
plot(h,rpp,xlab="Alavancagem",ylab="Resíduos padronizado",pch=16)
p=5; n=length(L)
pc=2*p/n
abline(v=pc,lwd=2,col=2)
abline(h=2,lwd=2,col=2)
abline(h=-2,lwd=2,col=2)

## Analisando a função de variância
# Gráfico da variância dos resíduos em função do preditor linear (analisando a
função de variância)
pred.lin=predict(m6,type="link")
plot(pred.lin,rpp,pch=16) #Homogeneidade na distribuição dos pontos é um
indicativo de adequação da função de variância <-----
#ou
library(boot);par(mfrow=c(2,2));glm.diag.plots(m3)

## Verificando a adequação da função de ligação
# Preditor linear ao quadrado
u=predict(m6,type="link")^2
m6n=glm(L~factor(l,levels=c("F","B","C","D","E","A))+u,data=d3,family=gaussian(link="identity"))
anova(m6,m6n,test="LRT")

## Gráfico QQ-Plot
rpp=glm.diag(m6)$rp
p=seq(0,1,length=length(L))#Gerando uma sequência
# Gerando números aleatórios de uma distribuição normal padrão
t.qt=qnorm(p)
# Ordenando as componentes do desvio padronizadas
rpp.ord=sort(rpp)
#Gráfico QQ-Plot. Pontos próximos da reta indicam adequação da distribuição
plot(t.qt,rpp.ord); qqline(t.qt,rpp.ord,col=2,lwd=2)

```