

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

A PANORAMA OF NOISE LEVELS FOR ACOUSTIC COMFORT OF TEACHING ENVIRONMENTS WITH VDT IN AREAS OF THE BRAZILIAN REGIONS

Maryana Scoralick de Almeida Tavares* E-mail: maryanaa@gmail.com

Luiz Bueno da Silva* E-mail: bueno@ct.ufpb.br

Erivaldo Lopes de Souza* E-mail: elopesouza@gmail.com

* Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, Brasil

Resumo: As instituições de ensino têm papel fundamental na formação dos indivíduos, influenciando direta e indiretamente em questões sociais, econômicas e ambientais. Dentre os problemas de conforto ambiental mais encontrados em ambientes de ensino, destacam-se os excessivos níveis de ruído, que afetam o processo de ensino-aprendizagem. O objetivo deste trabalho 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 foi avaliada segundo a NBR 10152/1987, a ANSI S12.60-2002 e as diretrizes da Organização Mundial da Saúde. O estudo se trata de uma pesquisa experimental, cujas medições técnicas foram realizadas de acordo com a NBR 10151/2000. 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 para comparar os níveis de ruído entre os laboratórios das instituições, que 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 dos materiais presentes nessas salas. A originalidade está na análise das diferenças dos níveis de ruídos entre os laboratórios a partir de uma modelagem matemática, mas levando-se em consideração os aspectos arquitetônicos.

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

Abstract: Educational institutions have a fundamental role in the formation of individuals, directly and indirectly influencing social, economic and environmental matters. Among the problems of environmental comfort most found in teaching environments, the excessive levels of noise stand out, which affect the teaching-learning process. The purpose of this paper is to evaluate the noise level parameters of six computer laboratories with Video Display Terminals (VDTs) of Technology Centers of Higher Education Institutions (HEI) in areas of the Brazilian regions, evaluating the behavior and compliance of their equivalent noise level (L_{Aeq}) and developing a mathematical model that compares noise levels between institutions. The compliance with noise levels was assessed according to NBR 10152/1987, ANSI S12.60-2002 and guidelines of the World Health Organization. The study is an experimental research whose technical measurements were performed according to the NBR 10151/2000. The descriptive analysis showed that the six teaching environments evaluated presented L_{Aeq} higher than the values established in the applicable norms. A generalized linear model was created to compare the noise levels between the institutions' laboratories, which corroborated the results obtained in the descriptive analysis. The architectural aspects of the laboratories were evaluated and it was concluded that the high noise levels may be related to the low coefficients of absorption of the materials present in those rooms. The originality is the analysis of the differences of noise levels between the laboratories from a mathematical modeling, but taking into account the architectural aspects.

Keywords: Noise. Classroom. Computer laboratories. VDT. Student.

1 INTRODUÇÃO

Os problemas mais comumente encontrados em ambientes internos incluem ruído, calor, falta de ventilação, falta ou excesso de iluminação. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016), 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.

Para os ambientes de sala de aula, a presença de ruído é crítica, visto que a comunicação é a base do processo de ensino-aprendizagem. As instituições de ensino 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. Portanto, o estudo do conforto ambiental em escolas e universidade é imprescindível (BERNARDI, 2001; GEMELLI, 2009; MUELLER, 2007; PELEGRÍN-GARCÍA; BRUNSKOG, 2012).

1.1 Justificativa

O ruído pode afetar negativamente o desempenho de tarefas cognitivas, como o processo de ensino-aprendizagem. Ambientes com atividades de estudo ou ensino-aprendizagem 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).

Nas salas de aula, há incidência de diversos ruídos, tanto internos quanto externos. 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. Brito (2016) 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, esse artigo 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.

2 O CONFORTO ACÚSTICO EM AMBIENTE DE ENSINO

A exposição ao ruído pode trazer efeitos negativos ao organismo. 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. Observa-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 em 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 neste artigo, a faixa ideal é de 40 a 50 dB(A).

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

| Locais | dB(A) |
|---|----------------|
| Escolas | |
| Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho | 35 - 45 |
| Salas de aula, Laboratórios | 40 - 50 |
| Circulação | 45 - 55 |
| Auditórios | |
| Salas de concertos, Teatros | 30 - 40 |
| Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo | 35 - 45 |
| 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 |

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.

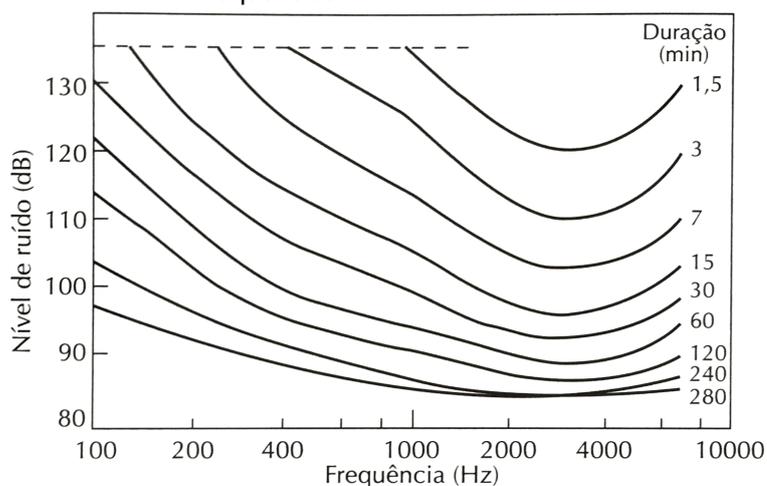
A norma NHO 01 estabelece que “não é permitida, em nenhum momento da jornada de trabalho, exposição a níveis de ruído contínuo ou intermitente acima de 115 dB(A) para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos” (FUNDACENTRO, 2001).

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]

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).

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



Fonte: Iida e Buarque (2016)

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”.

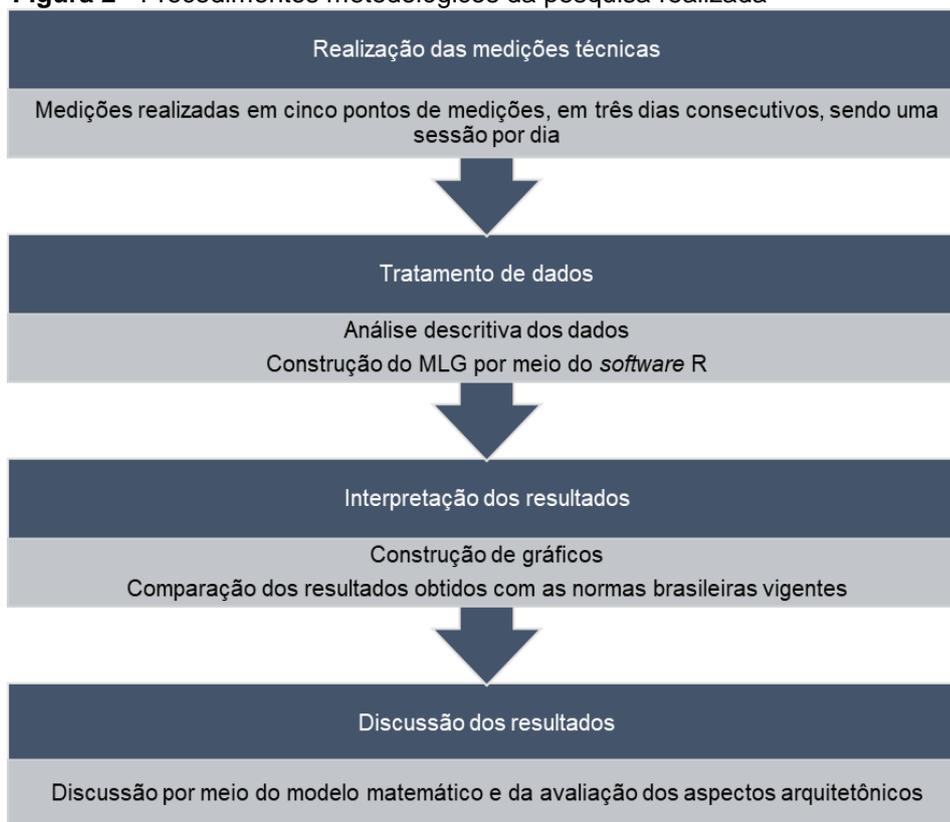
Assim, é primordial que as diversas variáveis térmicas, luminosas, acústicas e antropométricas sejam analisadas e controladas de modo a garantir o conforto ambiental. O presente trabalho aborda uma das variáveis do conforto ambiental: o conforto acústico, mas enfatizando os níveis de ruído para o conforto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

3 METODOLOGIA E MATERIAIS

O presente estudo trata de uma pesquisa experimental, de natureza quantitativa. Os passos dos procedimentos metodológicos são descritos na Figura 2.

Figura 2 - Procedimentos metodológicos da pesquisa realizada



Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

Os experimentos foram realizados em seis instituições de 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, uma na região Norte e outra na região Sudeste, e um no Sul do Brasil.

Quadro 1 - Descrição das instituições

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

Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

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.

3.1 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), 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 a variável independente foi definida como I_k , representando cada laboratório avaliado. A rotina da modelagem matemática realizada no *software* R é apresentada no Apêndice I.

3.2 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.

3.3 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 3), 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 é entre 16.4 e 140 dB(A), apropriada para esta pesquisa.

Figura 3 - Brüel & Kjær 2250-L

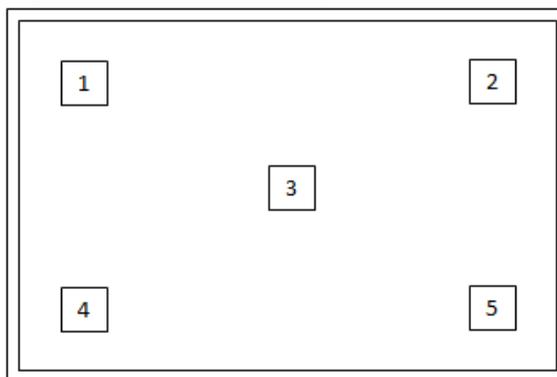


Fonte: Dados da pesquisa (2016)

3.4 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*, sistemas de rede WiFi, data show, computadores, VDTs e impressoras. As medições nos seis ambientes foram realizadas em cinco pontos (Figura 4) e de acordo com a NBR 10151/2000.

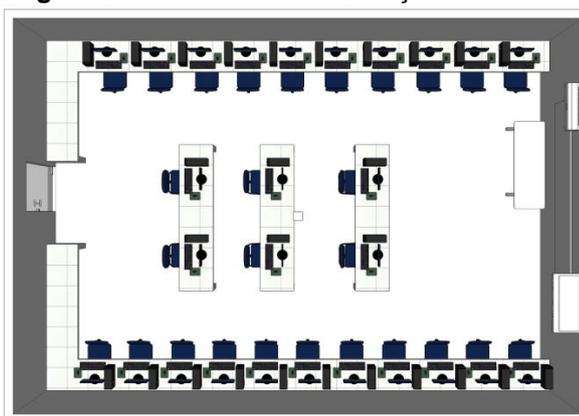
Figura 4 - Pontos de medição



Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

A instituição A é uma 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. Seu layout é reproduzido na Figura 5. As medições foram realizadas nos dias 18, 19 e 20/07/2016, iniciando às 10h30 e prosseguindo até as 13h00.

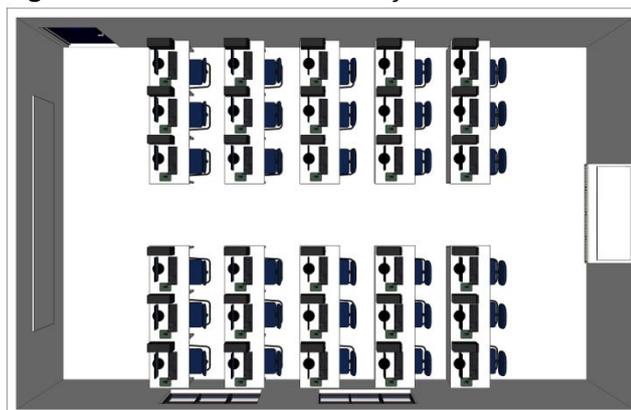
Figura 5 - Laboratório da Instituição A



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

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. No total, são 36 estações. Seu layout é reproduzido na Figura 6. Neste laboratório, as medições foram realizadas entre 25 e 27/08/2014, entre as 13h15 e as 15h00.

Figura 6 - Laboratório da Instituição B



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

A instituição C é uma universidade pública localizada na cidade de Manaus, Amazonas. A sala de aula analisada tem 69,79 m², é climatizada, tem 10 bancadas e 30 estações no total. Seu layout é reproduzido na Figura 7. As medições foram realizadas nos dias 01 a 03/08/2016, entre as 16h00 e as 19h00.

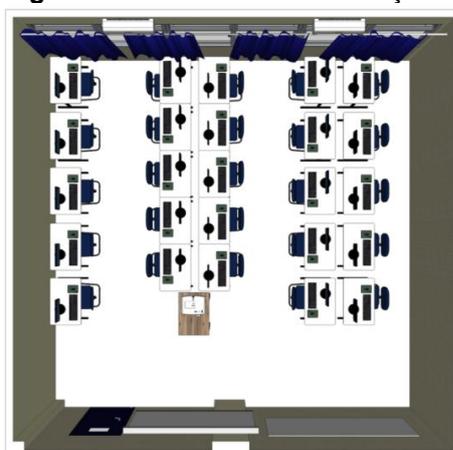
A instituição D é uma universidade pública localizada na cidade de Florianópolis, Santa Catarina. A sala de aula analisada tem 49,7 m², é climatizada e possui 25 estações. Seu layout é reproduzido na Figura 8. As medições foram realizadas entre os dias 21 e 23/03/2016, entre as 15h00 e as 19h00.

Figura 7 - Laboratório da Instituição C



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

Figura 8 - Laboratório da Instituição D



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

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. Seu layout é reproduzido na Figura 9. As medições foram realizadas nos dias 23, 24 e 25/05/2016, entre as 10h30 e as 13h00.

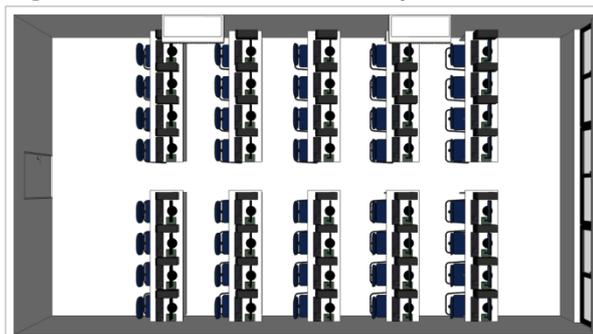
Figura 9 - Laboratório da Instituição E



Fonte: Dados da pesquisa (2016)

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. Seu layout é reproduzido na Figura 10. As medições foram realizadas nos dias 17, 18 e 19/11/2014, entre as 17h00 e as 19h00.

Figura 10 -Laboratório da Instituição F

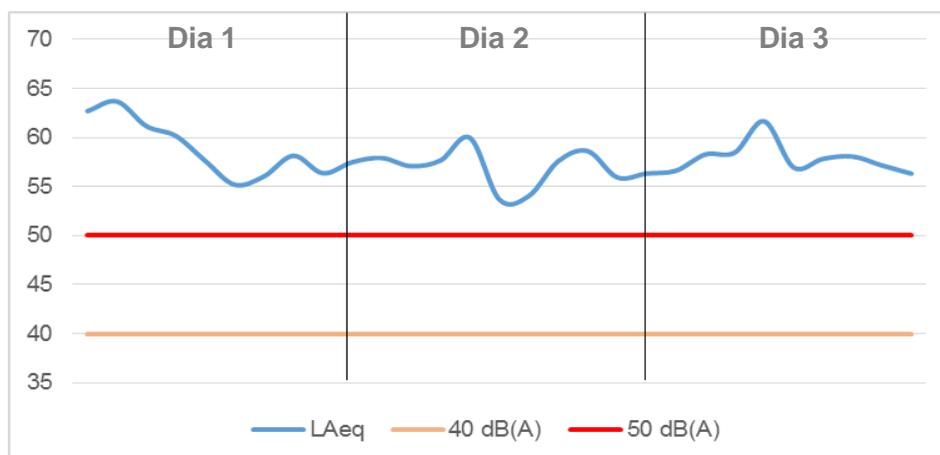


Fonte: Dados da pesquisa (2016)

4 RESULTADOS

No laboratório de informática da Instituição A, o L_{Aeq} mínimo foi 53,67 dB(A) e o máximo de 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

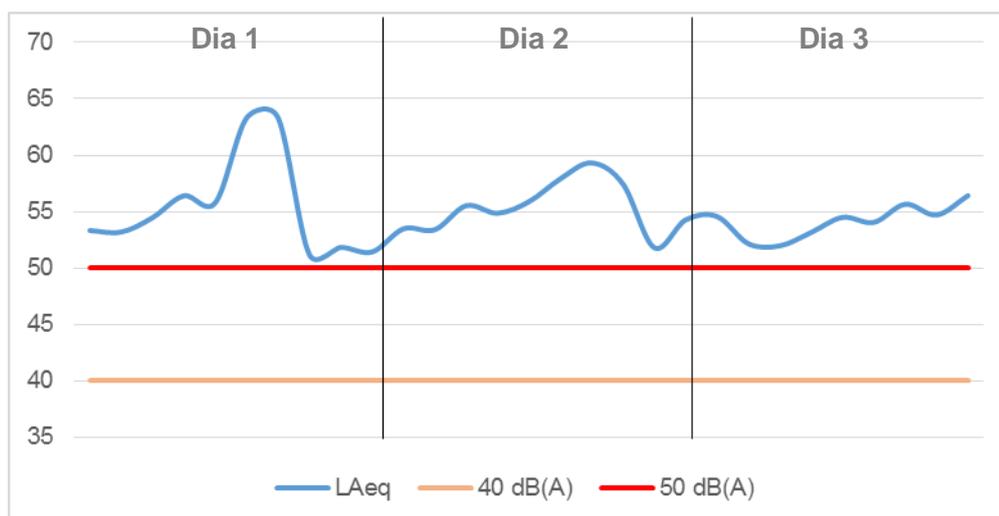


Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

No laboratório de informática da Instituição B, o L_{Aeq} mínimo foi 51,20 dB(A) e o máximo de 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).

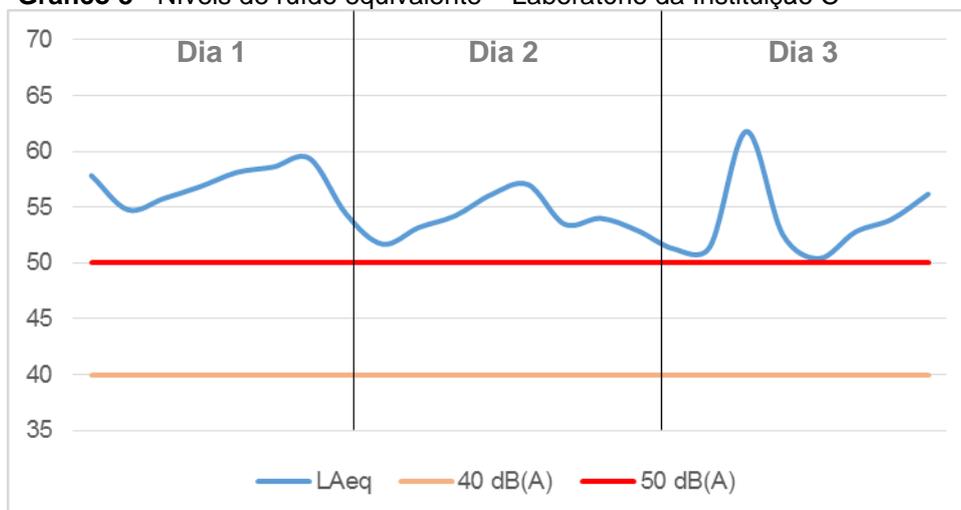
No laboratório de informática da Instituição C, o L_{Aeq} mínimo foi 50,41 dB(A) e o máximo de 61,79 dB(A). O ruído médio foi 54,96 dB(A) com desvio-padrão de 2,87 dB(A). Observa-se no Gráfico 3 que todas as medições de ruído realizadas na instituição C tiveram valores acima de 50 dB(A), limiar do nível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

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



Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

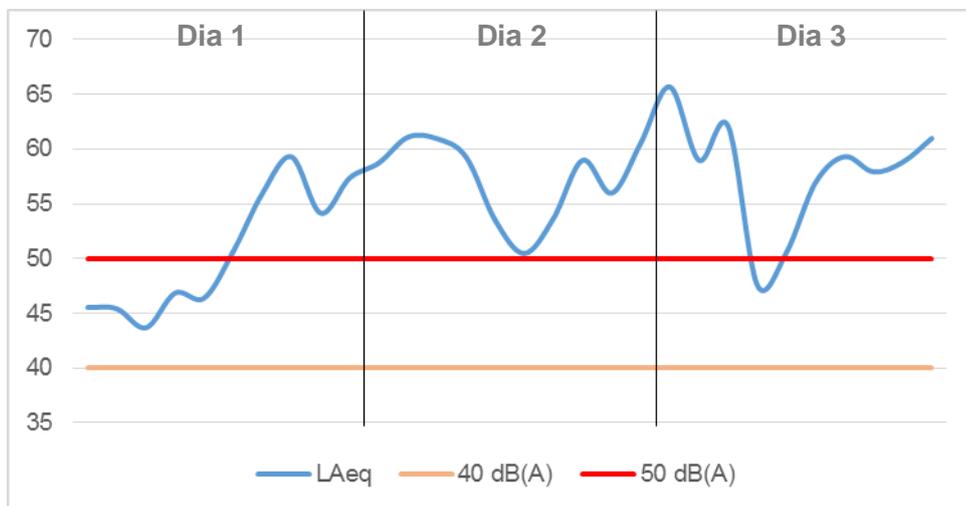
Gráfico 3 - Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição C



Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

No laboratório de informática da Instituição D, o L_{Aeq} mínimo foi 43,69 dB(A) e o máximo de 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.

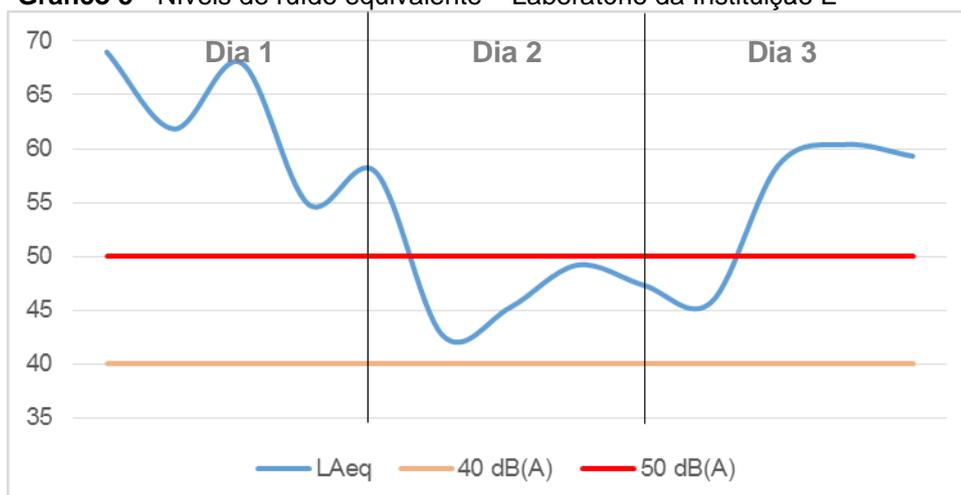
Gráfico 4 - Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição D



Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

No laboratório de informática da Instituição E, o L_{Aeq} mínimo foi 42,66 dB(A) e o máximo de 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).

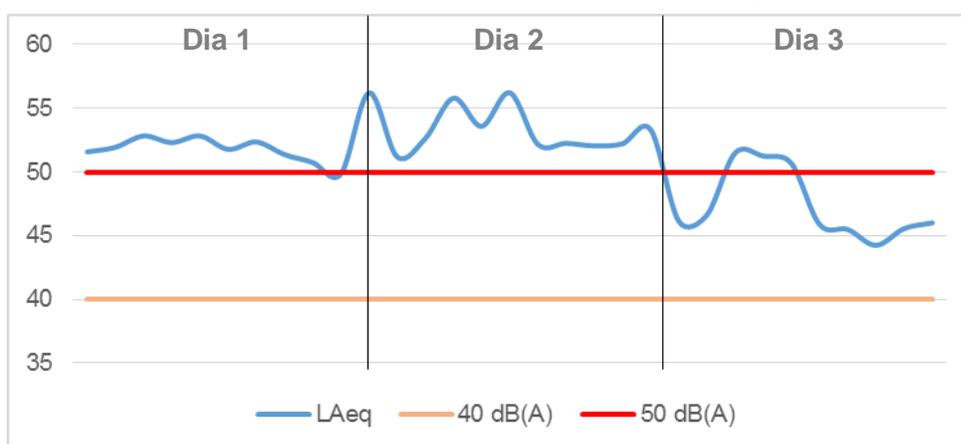
Gráfico 5 - Níveis de ruído equivalente – Laboratório da Instituição E



Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

No laboratório de informática da Instituição F, o L_{Aeq} mínimo foi 44,25 dB(A) e o máximo de 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



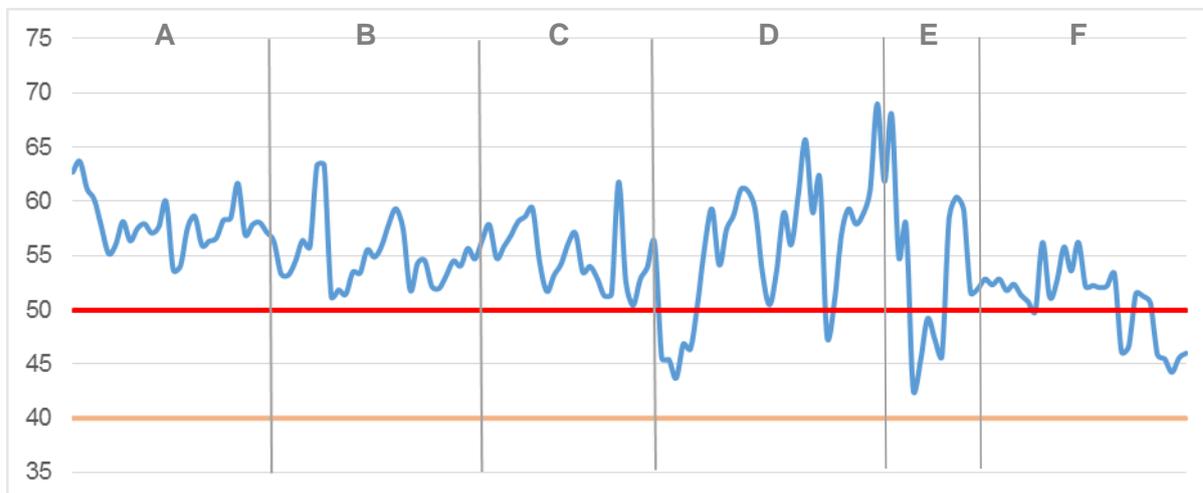
Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

4.1 Panorama geral

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 apenas alguns níveis L_{Aeq} entre 40 e 50 dB(A).

Gráfico 7 - Níveis de ruído equivalente dos laboratórios das seis instituições



Fonte: Elaborado pelos autores (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; 2016), os níveis de ruído continuam desconformes, visto que estas estabelecem 35 dB(A) como valor máximo.

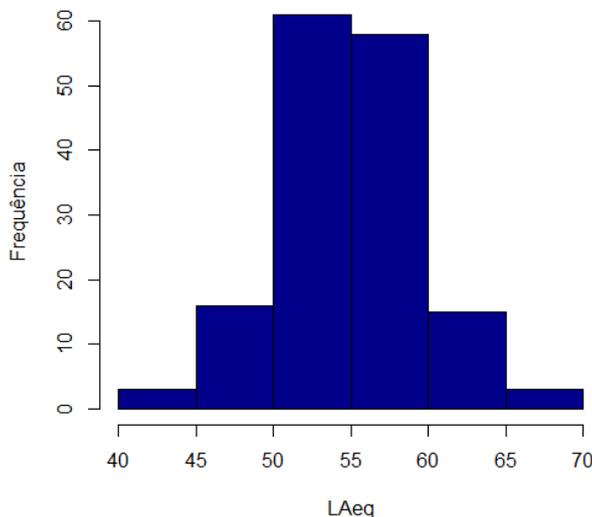
4.2 Modelagem matemática e discussão dos resultados

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, construiu-se modelo matemático para comparar os níveis de ruído entre os seis laboratórios. Ademais, visto que houve diferenças entre os níveis L_{Aeq} , mesmo os laboratórios tendo edificações similares, fez-se uma avaliação dos aspectos arquitetônicos dos ambientes para investigar possíveis influências de tais características nos níveis de ruído.

Observou-se que os dados são contínuos e o histograma apresentado no Gráfico 8 mostra que os valores de ruído equivalente estão concentrados entre 50 e 60 dB(A). Aplicando-se os testes de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov,

comprovou-se que os dados possuem distribuição normal, pois os p-valores foram, respectivamente, $0,07616 > 0,05$ e $0,09593 > 0,05$.

Gráfico 8 - 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 9 e pelos resultados obtidos na análise descritiva.

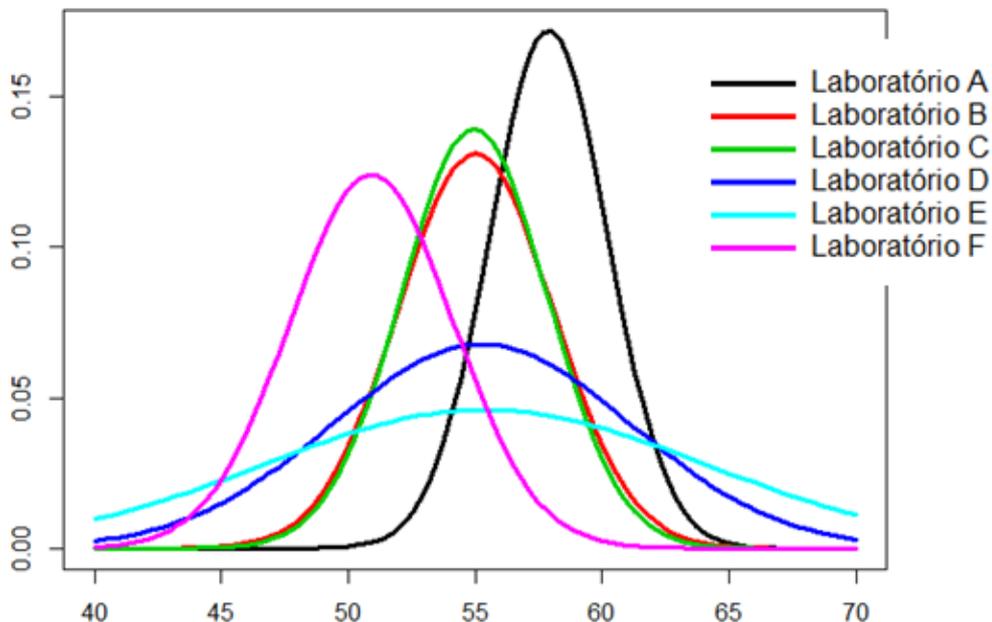
Tabela 4 - p-valor para a distribuição Normal

| Laboratório de informática | p-valor | |
|----------------------------|---------------------|----------------|
| | Distribuição Normal | $P(L \leq 50)$ |
| 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 pelos autores (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 cada laboratório 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.

Gráfico 9 - Curvas de densidade de Probabilidade



Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

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 pelos autores (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:

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

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).

Esse modelo tomará como referência o laboratório que apresentar a melhor estimativa de parâmetros, ou seja, a estimativa com maior nível de significância. O modelo faz a comparação dos níveis de ruído do laboratório tomado como referência com os níveis de ruído 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. As colunas da tabela estabelecem qual laboratório foi tomado como referência. Nota-se que os laboratórios das instituições A e F foram aqueles que apresentaram maior número de diferenças significativas quando comparados aos demais.

Como se observa na Tabela 6, o modelo referente ao laboratório de informática da instituição F tomado como referência tem a estimativa de parâmetros com maior significância, portanto, ele será usado para a análise. Embora os parâmetros deste modelo tenham significância, isto é, $p_valor=0,01 < 0,05$, 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: (1) avaliação de pontos de alavanca, (2) adequação da função de variância, (3) adequação da distribuição de probabilidade usada para modelar a variável dependente e, por fim, (4) adequação da função de ligação utilizada.

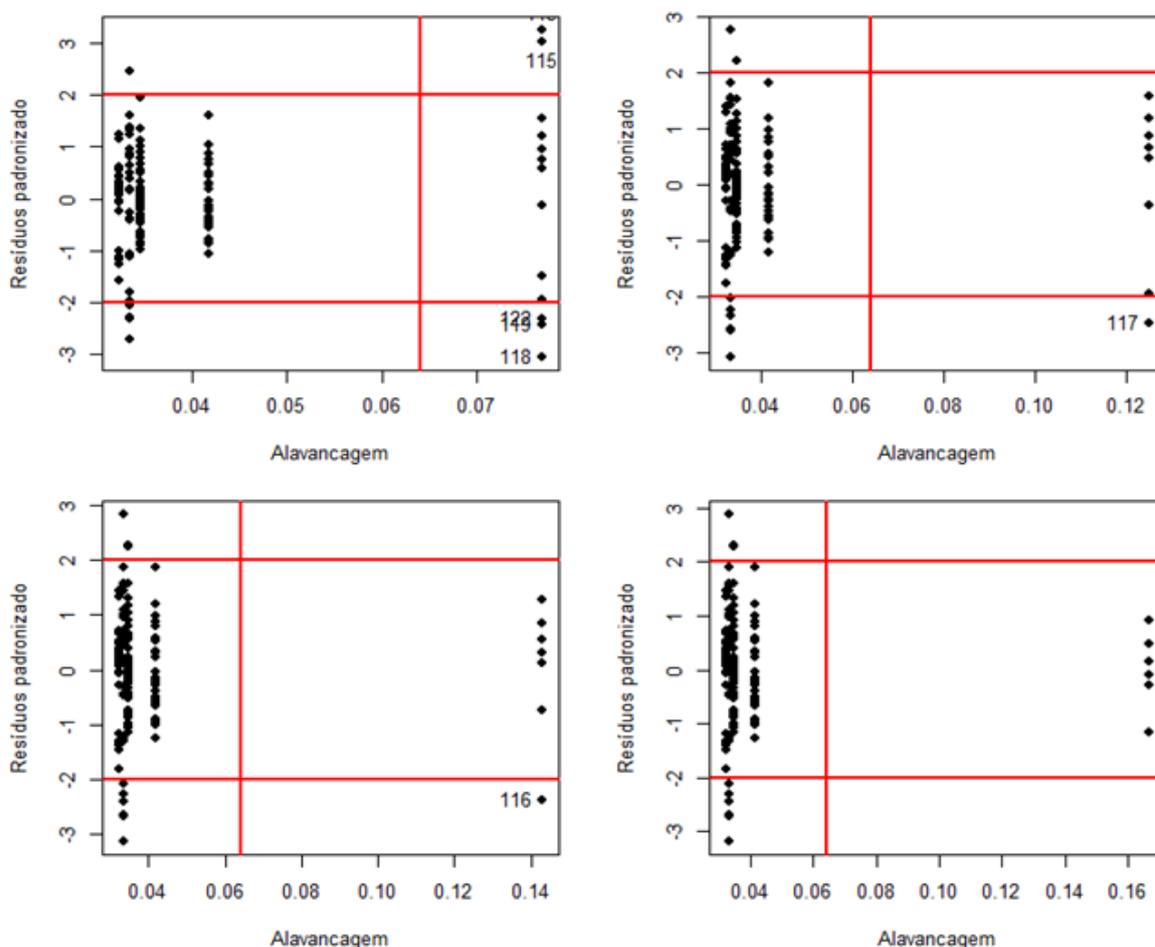
Tabela 6 - Valor esperado do L_{Aeq} para os laboratórios de referência e a diferença esperada em relação aos demais

| 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

A Figura 11 mostra as etapas de exclusão dos pontos de alavanca. Foram retirados sete pontos ao total, o reduziu a amostra para 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 alguns dados de forma satisfatória.

Figura 11 - Análise de resíduos – Pontos de alavanca



Fonte: Elaborado pelos autores (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.

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.

Primeiramente, fez-se a análise da função de variância. Como se nota no Gráfico 10, 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.

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*** |

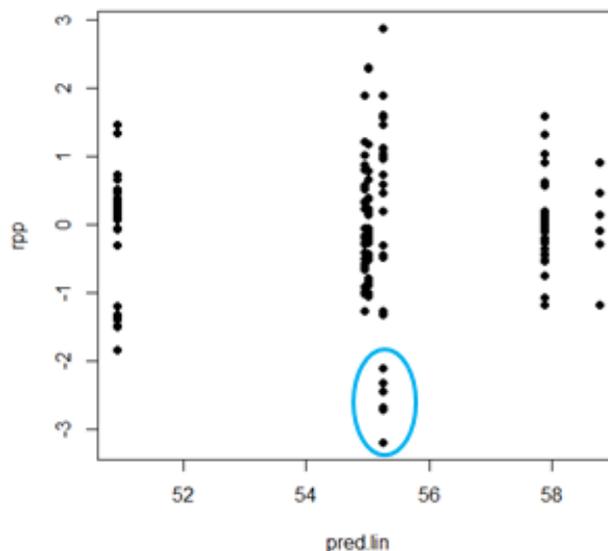
Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

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

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

Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

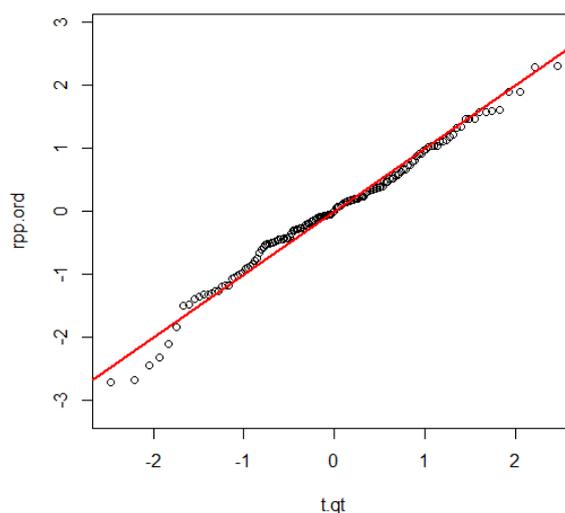
Gráfico 10 - Análise da função de variância



Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

Em seguida, visto que os dados de ruído têm 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 11), onde os pontos serem próximos da reta indica adequação da distribuição. Portanto, a distribuição escolhida pode ser considerada adequada.

Gráfico 11 - QQ-Plot



Fonte: Elaborado pelos autores (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

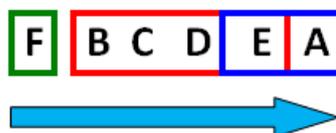
| Sem η^2 | Com η^2 |
|--------------|--------------|
| 1943,5 | 1943,5 |

Fonte: Elaborado pelos autores (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 12). 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 12 - Laboratórios divididos em grupos



Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

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 pelos autores (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. Em geral, os laboratórios possuem estruturas arquitetônicas similares. Mas como podem existir pequenas diferenças entre as características construtivas das edificações – as quais podem influenciar positiva ou negativamente em seu desempenho acústico –, fez-se uma avaliação dos aspectos arquitetônicos dos laboratórios.

4.2.1 Análise dos aspectos arquitetônicos

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

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)

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 mostraram que as medições realizadas nos laboratórios apresentaram níveis de ruído equivalente sempre superiores 50 dB(A) conforme prediz 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 às análises descritivas realizadas. Mas esta elevação poderá estar vinculada aos baixos coeficientes de absorção (em média 0,024) das características arquiteturais dos laboratórios.

Os resultados desse estudo são corroborados por outros trabalhos que analisam níveis de ruído em ambientes de ensino e organizacionais (BARROS; SAINT-YVES, 2003; RABELO *et al.*, 2014; GONÇALVES; SILVA; COUTINHO, 2009; ZANNIN; ZWIRTES, 2009).

A originalidade deste trabalho está no aspecto de analisar as diferenças dos níveis de ruídos entre os laboratórios a partir de uma modelagem matemática, mas levando-se em consideração os aspectos arquitetônicos desses laboratórios.

O estudo foi realizado em seis IES das regiões Norte, Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil. Assim, sugere-se realizar esse estudo em uma ou mais IES da região Centro-Oeste. Além disso, para que os resultados possam ser generalizados, deve-se realizar o estudo em um número maior de instituições.

REFERÊNCIAS

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.

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

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

BARROS, L. C.; SAINT'YVES, J. E. A. Saúde ocupacional: considerações a respeito da perda auditiva induzida por ruído e da disfonia. **Produção Online**, v. 3, n. 1, 2003. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v3i1.612>

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.

BRASIL. **NR 15**: Atividades Insalubres. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978.

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.

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

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.

FREITAS, R. M.: **Entre mitos e limites**: as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

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.

GONÇALVES, V. S. B.; SILVA, L. B.; COUTINHO, A. S. Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade de fala dos professores. **Produção**, v. 19, n. 3, p. 466-76, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132009000300005>

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**. ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA, 15., 2009. **Anais...** São Paulo, 2009.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2014.

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.

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.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Guidelines for community noise**. Suíça, 1999. Disponível em: <<http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf?ua=1>>.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Noise**. Dinamarca, 2016. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise>>.

PARK, S. B. *et al.* 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, v. 132, n. 1, pp. 249-260, 2012. <https://doi.org/10.1121/1.4728212>

RABELO, A. T. V. *et al.* Efeito das características acústicas de salas de aula na inteligibilidade de fala dos estudantes. **CoDAS** [online]. 2014, v. 26, n.5, p. 360-366. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-1782/20142014026>

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

ZANNIN, P. H. T.; ZWIRTES, D. P. Z. Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools. **Applied Acoustics**, v. 70, n. 4, p. 626-635, 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2008.06.007>

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, 2009.



Artigo recebido em 21/01/2017 e aceito para publicação em 10/10/2017
DOI: <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v17i4.2694>

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)

```