



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ROBERTA DE LOURDES SILVA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS ACÚSTICOS NA INTELIGIBILIDADE DA
FALA: UM ESTUDO EM SALAS DE AULA DE ESCOLAS MUNICIPAIS DE JOÃO PESSOA**

JOÃO PESSOA
2012

ROBERTA DE LOURDES SILVA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS ACÚSTICOS NA INTELIGIBILIDADE DA
FALA: UM ESTUDO EM SALAS DE AULA DE ESCOLAS MUNICIPAIS DE JOÃO PESSOA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Bueno da Silva, Dr.

JOÃO PESSOA

2012

S237a Santos, Roberta de Lourdes Silva dos

Análise da influência de parâmetros acústicos na inteligibilidade da fala: um estudo em salas de aula de escolas municipais de João Pessoa. / Roberta de Lourdes Silva dos Santos. – João Pessoa, 2012.

127f.: il.

Orientador: Prof. Luiz Bueno da Silva Dr.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – PPGEPP-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/ CT - Centro de Tecnologia/ UFPB - Universidade Federal da Paraíba.

1. Sala de Aula 2. Parâmetros Acústicos 3. Inteligibilidade I. Título.

UFPB/BC

CDU: 65.015.11(043)

ROBERTA DE LOURDES SILVA DOS SANTOS

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS ACÚSTICOS NA INTELIGIBILIDADE DA
FALA: UM ESTUDO EM SALAS DE AULA DE ESCOLAS MUNICIPAIS DE JOÃO PESSOA**

DATA DA DEFESA: 03/08/2012

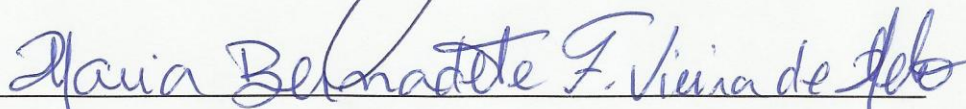
**LOCAL: UFPB – Campus I – Centro de Tecnologia –
Departamento de Engenharia de Produção**

HORÁRIO: 14:00 h

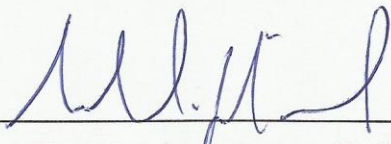
BANCA EXAMINADORA



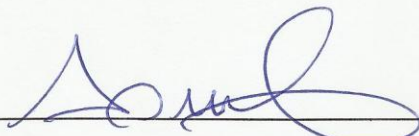
Orientador – Prof. Luiz Bueno da Silva (Dr.)



Examinadora interna - Prof.ª Maria Bernadete Fernandes Vieira de Melo (Dra.)



Examinador externo - Prof. Roberto Leal Pimentel (Dr.)



Examinadora externa - Prof.ª Solange Maria Leder (Dra.)

*“Se não puder voar, corra.
Se não puder correr, ande.
Se não puder andar, rasteje.
Mas continue em frente de qualquer jeito.”*
Martin Luther King

*À Wáldina, minha mãe, minha amiga, minha estrela,
meu anjinho, que tanto me amou...
A melhor pessoa que poderia ter existido.
Com todo meu amor!*

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e principalmente pela força para suportar e superar tantos momentos difíceis ao longo destes dois anos.

Ao meu pai Roberto dos Santos, exemplo de luta, integridade, responsabilidade, meu herói. À minha mãe Waldinar Freire (*in memoriam*), pelo significado e pela importância que teve em minha vida. A ambos pela educação e afeto recebidos.

A Walber e Walberto, por serem simplesmente os melhores irmãos do mundo.

Ao professor Luiz Bueno da Silva, meu orientador, ser humano e profissional exemplar, que de maneira muito especial soube conduzir o trabalho com paciência, dedicação, comprometimento e disponibilidade.

Aos dois amigos, irmãos que Deus me presenteou como colegas de turma, Eduardo Guimarães e Valeska Menezes pelas tantas horas compartilhadas, na alegria e na tristeza.

Aos bolsistas/amigos participantes da pesquisa, sem os quais os dados não seriam coletados: Amy Paola, Thales Ribeiro, Luciano Carlos, Paulo Guilherme, Tatiane Barros. A Elaine que pacientemente proporcionou a produção das plantas baixas das escolas. A todos os colegas do Grupo de Pesquisa CESET: Vanessa Meneses, Priscila Vasconcelos, Erivaldo Lopes e Flávia Brito.

A todos os professores do PPGE, especialmente Roberto Quirino e Antonio Souto Coutinho com os quais aprendi lições que foram além dos conhecimentos acadêmicos.

À professora Bernadete Fernandes que me presenteou com sua amizade e me apoiou em momentos especiais.

Aos professores Roberto Pimentel e Solange Leder pela disponibilidade e a gentileza de fazer parte da banca desta dissertação.

Aos colegas de turma e amigos com os quais compartilhei momentos especiais que tornaram as aulas bem mais agradáveis.

À Ana Araújo, mais que secretária do PPGE, conselheira e amiga dos alunos.

Aos amigos da graduação em Engenharia de Produção Mecânica, alguns já mestrando, em especial: Vitória Mola, Elizama Marques e Raphael Kramer.

Aos funcionários do DEP, Josenildo, Ricardo e Josemildo pela disponibilidade em ajudar todos os alunos.

Aos meus amigos e amigas, pessoas fundamentais nessa caminhada pelo apoio e incentivo.

Aos meus familiares que torceram e acreditaram que tudo isso seria possível.

A todos os professores que tive ao longo de minha vida estudantil sem os quais não teria chegado até aqui.

À Secretaria de Educação e Cultura do Município de João Pessoa por ter possibilitado a realização da pesquisa.

Ao CNPq por ter possibilitado e financiado esta pesquisa.

RESUMO

Estudos na área de conforto ambiental realizados em estabelecimentos de ensino registraram que, considerando as variáveis termofísicas, a variável acústica possui uma importância superior às outras variáveis, nomeadamente em relação às variáveis térmica, luminínica e da qualidade do ar interior, uma vez que esta é a variável que está diretamente vinculada à inteligibilidade da fala com repercussões no desempenho de professores e alunos. Contudo, o nível de pressão sonora da fala, a reverberação da sala e o ruído de fundo são fatores que podem interferir na inteligibilidade da fala em salas de aula. Assim, a partir das diretrizes de normas brasileiras e internacionais, foram avaliadas as condições acústicas de 119 salas de aulas das Escolas Municipais, na cidade de João Pessoa, no Brasil. Através da construção de um modelo de regressão beta, verificou-se em que medida os parâmetros acústicos destas salas interferem na inteligibilidade da fala dos professores. Constatou-se que o nível de ruído advindo de fontes externas às salas de aula, ruído de fundo, tempo de reverberação e o Índice de Inteligibilidade da fala não se encontram dentro dos valores de referência estabelecidos nas normas aplicáveis. A modelagem matemática apresentou uma elevada consistência, com um valor de 0,9956 para o pseudo R^2 e a variável “Tempo de Reverberação” ($p\text{-value} = 2 \cdot 10^{-16}$) foi a mais representativa; *odds ratio*= 0,228126, demonstrando que esta variável afeta a qualidade da inteligibilidade no em torno de 77,18%.

Palavras chave: Sala de Aula. Parâmetros Acústicos. Inteligibilidade.

ABSTRACT

Researches in the area of environmental comfort conducted in schools reported that, considering the thermophysical variables, the acoustic variable is more important than the other variables, especially in relation to thermal, luminous and indoor air quality variables, since this is the variable that is directly tied to speech intelligibility, with impacts on the performance of teachers and students. However, the sound pressure level of speech, the reverberation of the room and the background noise are factors that can affect the speech intelligibility in classrooms. Thus, from the guidelines of Brazilian and international standards, we evaluated the acoustic conditions of 119 classrooms of municipal schools in the city of Joao Pessoa, Brazil. Through the construction of a beta regression model, it was verified how much the acoustic parameters of these rooms can affect the speech intelligibility of teachers. It was found that the level from external sources to classrooms, background noise, reverberation time and the speech intelligibility index is not within the reference values established in those standards. The mathematical modeling showed a high consistency, with a value of 0,9956 for the pseudo R² and the variable "Reverberation Time" ($p\text{-value} = 2 \cdot 10^{-16}$) was the most representative, *odds ratio*= 0,228126, demonstrating that this variable affects the quality of intelligibility at around 77,18%.

Keywords: Classroom. Acoustic parameters. Intelligibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Meios de transmissão sonora	30
Figura 2 - a) reflexão sonora em superfície especular, b) reflexão em superfície difusora	31
Figura 3 - Diferentes casos de reflexão sonora.....	33
Figura 4 - Corte exemplar da utilização de placas refletoras em uma sala utilizada para proporcionar distribuição sonora.	33
Figura 5 - Curvas Balanceadas de Critério de Ruído (NCB).	35
Figura 6 - Efeitos do ruído no organismo	36
Figura 7 - Relação entre o STI e AlCons, obtido para um conjunto de condições. ..	42
Figura 8 - Projeto Pátio	54
Figura 9 - Projeto Blocos.....	55
Figura 10- Projeto Grupo.....	55
Figura 11 - Projeto como cidade	55
Figura 12 - Tipologias arquiteturais escolares.....	58
Figura 13- Pontos de medições de ruído	73
Figura 14 - Exemplos de escolas por grupo	82
Figura 15 - Exemplos de salas de aula	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Níveis de pressão sonora medidos nas salas de aula.....	78
Gráfico 2 - Níveis de ruído advindos de fontes externas medidos nas salas de aula.....	79
Gráfico 3 - Tempos de reverberação calculados nas salas de aula.....	80
Gráfico 4 - Índice de transmissão da fala medidos nas salas de aula.....	81
Gráfico 5 - Distribuição das salas de aula de acordo com os projetos das escolas ..	83
Gráfico 6 - Normal Q-Q Plot	84
Gráfico 7 - Ajuste do Modelo	87
Gráfico 8 - Resíduos x Índices de observações	87
Gráfico 9 - Distância de Cook.....	88
Gráfico 10 - Alavanca Generalizada x Valor Predito	89
Gráfico 11 - Resíduos x Preditor Linear	89
Gráfico 12 - Valores Preditos x Valores Observados	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação dos valores de ALCONS	40
Quadro 2 - Avaliação do STI	40
Quadro 3 - Variáveis e indicadores da pesquisa	72
Quadro 4 - Matriz de correlação	85
Quadro 5 - Estimativas dos coeficientes do modelo e respectivos erros padrões.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - O nível de critério de avaliação para ambientes externos.....	27
Tabela 2 - Níveis de som para conforto	37
Tabela 3 - Divisão das escolas municipais de João Pessoa por pólo e por bairro	69
Tabela 4 - Composição da amostra	70

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Definição do tema e problema de pesquisa.....	14
1.2 Justificativa.....	18
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo Geral	21
1.3.2 Objetivos Específicos	21
1.4 Delimitação do Estudo.....	22
1.5 Estrutura da dissertação	22
 CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	 24
2.1 Acústica	24
2.1.1 Parâmetros para avaliação acústica de ambientes	25
2.1.1.1 Reverberação e Tempo de Reverberação - TR	25
2.1.1.2. Ruído advindo de fontes externas - REXT	27
2.1.1.3. Nível de Pressão Sonora - NPS	28
2.1.2 Tipologias arquiteturais e propagação do som.....	29
2.2 O Ruído e suas consequências	34
2.3 Inteligibilidade	38
2.4 O ambiente escolar	43
2.4.1 Arquitetura e Conforto Acústico no Ambiente Escolar.....	43
2.4.2 A importância de Inteligibilidade da fala no ambiente escolar	50
2.4.3 Influência do projeto no ambiente escolar	53
2.5 Estudos Descritivo-Correlacional e Correlacional	60
2.5.1 Modelagem.....	62
2.5.2 Modelo de Regressão Beta.....	63
 CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	 68
3.1 Natureza e classificação da pesquisa	68
3.2 População e Amostra.....	68
3.3 Variáveis e Indicadores.....	70
3.4 Materiais e métodos	73
3.5 Tratamento dos dados	75
3.6 Considerações Éticas	75

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	77
4.1 Análise descritiva de parâmetros acústicos.....	77
4.1.1 Nível de Pressão Sonora (NPS).....	77
4.1.2 Ruído advindo de fontes externas (REXT).....	78
4.1.3 Tempo de Reverberação (TR).....	79
4.1.4 Inteligibilidade da fala (STI).....	80
4.2 Análise dos projetos arquiteturais	81
4.3. Análise da relação entre os Níveis de Pressão Sonora (NPS) levando em consideração projetos antigos e novos	83
4.4 Modelagem Matemática	85
CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO	91
5.1 Direções Futuras	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXO – Relação das Escolas Municipais de João Pessoa.....	106
APÊNDICE I – Teste Piloto.....	114
APÊNDICE II – Questionário.....	117
APÊNDICE III – Carta de Apresentação	120
APÊNDICE IV – Rotina utilizada no software R	121

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Nenhuma sociedade renuncia ao seu direito de ensinar; ao contrário, cada uma define a educação de acordo com os seus critérios, pois é através dela que a sociedade mantém vivos seus costumes, suas tradições, sua história. Nesse contexto, a instituição escolar exerce importante papel no desenvolvimento das pessoas e da sociedade. Na escola, mais precisamente na sala de aula, acontece o processo ensino-aprendizagem, que envolve a abordagem de conteúdos curriculares bem como a disseminação de boas práticas sociais contempladas pela educação em seu sentido mais amplo (CURY, 2002; LOSSO, 2003; OLIVEIRA, 2007; SOARES, 2007; ZANNIN & ZWIRTES, 2009; RIBEIRO, 2011).

1.1 Definição do tema e problema de pesquisa

No Brasil, as escolas públicas estão divididas em instituições de atendimento infantil para crianças de 0 a 6 anos de idade, escolas de ensino fundamental e médio, escolas técnicas ou profissionalizantes e escolas especiais para portadores de necessidades especiais. O ensino fundamental divide-se em dois níveis: o primeiro que corresponde às séries iniciais (1º ao 5º ano), que atende alunos dos seis aos dez anos de idade; e o segundo (do 6º ao 9º ano) que envolve alunos dos onze aos quatorze anos de idade. (KOWALTOWSKI, 2011).

De acordo com Ribeiro (2011), as cinco primeiras séries do ensino fundamental são as mais decisivas para na formação dos estudantes, é onde se forma a base para desenvolvimento dos alunos. Segundo dados do Ministério da Educação, o município de João Pessoa possuía em 2011 cerca de 71.963 (setenta e um mil, novecentos e sessenta e três) alunos matriculados no ensino fundamental, 60% destes faziam parte da rede municipal de ensino. Por outro lado, o crescimento populacional e os programas sociais do Governo Federal resultaram na construção de diversos conjuntos habitacionais que precisaram ser dotados de infraestrutura, implicando na necessidade de construção de novas edificações escolares.

Kowaltowski (2011) destaca que a importância do conforto ambiental em relação à produtividade, no trabalho ou na aprendizagem, depende do projeto do edifício e de seus ajustes às atividades do usuário. Há, portanto, uma forte relação

entre a arquitetura escolar e a satisfação do usuário em relação à qualidade do ambiente, sendo estas diretamente ligadas ao conforto ambiental, que inclui os aspectos térmico, visual, acústico e funcional proporcionados pelos espaços externos e internos. As questões de conforto abordam diversos fatores, tais como a qualidade do ar, as condições de ventilação, de comunicação verbal, os níveis de iluminação, a disponibilidade do espaço e quais os materiais de acabamento.

De Giuli et. al. (2012) afirmam que trabalhar ou estudar em um ambiente confortável aumenta não só o bem-estar, mas também a satisfação e, portanto, a produtividade e a aprendizagem. Assim, é necessário alcançar um bom nível de conforto em edifícios educacionais, tendo em vista que os alunos passam, aproximadamente, 30% de suas vidas na escola.

Neste sentido, as edificações escolares devem contemplar condições que proporcionem o desenvolvimento adequado das atividades educativas, sendo fundamental que suas dependências estejam dentro de padrões admissíveis de níveis de ruídos e sons. Dentre as inúmeras atividades desenvolvidas na escola destaca-se o processo ensino-aprendizagem, destinado às mais diferentes faixas etárias e nos mais diferentes campos do conhecimento. (LOSSO, 2003)

De acordo com Ribeiro (2011), estudos sobre desempenho acadêmico nas escolas brasileiras (Albanez, Ferreira e Franco, 2002; Alves, 2007; Barbosa, 2009; Soares, 2004) indicam que escolas públicas de ensinos fundamental e médio têm alunos com desempenho médio significativamente menor do que escolas privadas ou públicas federais. Tal fato pode ser ocasionado pelo pouco investimento em instalações físicas e infraestrutura, qualificação do corpo docente, implantação de metodologias pedagógicas adequadas e eficientes, e/ou pela falta aquisição de materiais ou na manutenção em geral.

Dentre os fatores relativos aos investimentos nas instalações físicas e infraestrutura está a qualidade acústica das edificações, aspecto que há algum tempo parece negligenciado. A maioria das edificações não evita a propagação dos sons e não leva em consideração a qualidade acústica interna das salas de aula.

Tal aspecto se torna importante, pois é na sala de aula que o processo educativo se consolida e a aprendizagem acontece, envolvendo a intensa comunicação verbal entre professores e alunos. A eficiência desta comunicação, e, portanto, a eficiência do ambiente de aprendizagem, pode ser medida por meio das condições acústicas das salas. (ZANNIN & ZWIRTES, 2009).

Segundo Santos e Russo (1999), a acústica é a parte da física que se preocupa com o estudo do som, tanto em sua produção e transmissão, quanto na sua detecção pelo ouvido humano. No entanto, Kuttruff (1979); Bradley et. al. (1999); Airey (2000); Bondi et. al. (2001); Losso (2003); Fernandes (2005); Eniz e Garavelli (2006) e outros autores utilizam o termo “acústica” para fazer referência às condições acústicas de ambientes. Valle (2009), por exemplo, define acústica como o comportamento de um espaço em relação ao som produzido em seu interior.

Com relação às salas de aula, Hodgson e Wong (2009) afirmam que as más condições acústicas podem afetar significativamente a inteligibilidade da comunicação verbal entre alunos e professores. Os alunos sentados na parte da frente da sala de aula geralmente são capazes de ouvir muito bem o professor devido sua proximidade e a recepção de fortes sinais de fala diretos do professor. No entanto, um aluno sentado no fundo da sala de aula, além de receber sinais da fala do professor menos intensos, é mais afetado pela reverberação, um dos principais parâmetros acústicos. Adicionalmente, ainda pode haver outras fontes de ruído, como, por exemplo, saídas de ventilação, janelas, equipamentos eletrônicos e os alunos, que afetam a inteligibilidade da fala.

De acordo com Fernandes (2003), o conceito de inteligibilidade é bastante genérico, podendo ser definido como a razão pela qual nós entendemos os sons. A inteligibilidade pode ser aplicada a ambientes, a sistemas de comunicação, em testes de equipamentos de áudio, em testes de audição, em avaliação de próteses auditivas, em avaliação de protetores auriculares. Ao mesmo tempo, também se aplica à linguagem, ao canto, às notas musicais e outros sons. Portanto, como a voz é um dos sons mais ouvidos no dia-a-dia, considera-se a inteligibilidade da fala como a mais usual. Esta é definida como a relação entre palavras faladas e palavras entendidas, expressas em porcentagem. Assim, para que a comunicação seja efetiva e inteligível, a inteligibilidade da fala deve ser superior a 90% (NEPOMUCENO, 1994).

A partir das definições de acústica e inteligibilidade pode-se inferir que ambas se relacionam com propagação sonora. Segundo Fernandes (2003), a propagação do som no ar se dá a partir da fonte geradora, em todas as direções. Por ser uma vibração longitudinal das moléculas do ar, esse movimento oscilatório é transmitido de molécula para molécula, até chegar aos nossos ouvidos, gerando a audição. Quando existe uma superfície interpondo o avanço de uma onda sonora, esta se

divide em várias partes: uma quantidade é refletida, outra é absorvida e outra atravessa a superfície (transmitida).

Neto (2006) aponta que em ambientes a propagação sonora se dá das seguintes formas: através do ar, pelas aberturas como portas, janelas, etc. (transmissão por fendas); pela estrutura que separa os dois ambientes, através de vibrações nessa estrutura que são transmitidas de um ambiente para outro (transmissão por vibração de elementos); e por meio da transmissão por flancos (transmissão marginal), através das superfícies limítrofes da estrutura como lajes, pilares etc.

Dada a importância da transmissão sonora como indicador para as variáveis acústica e inteligibilidade, torna-se indispensável considerar as tipologias arquiteturais na análise destes parâmetros. No caso das salas de aula, Losso (2003) afirma que a geometria pode ser um fator determinante do ponto de vista de sua qualidade acústica. A análise geométrica faz uma aproximação e considera a onda sonora como um raio que parte de uma fonte sonora e propaga-se em direções determinadas pelas características direcionais da fonte e da frequência do som.

Toro et. al. (2006), analisando escolas públicas em Belém do Pará, observaram que na amostra das salas de aula avaliada, todas se encontravam inadequadas para a atividade a que se destinam, considerando a qualidade acústica necessária para esse tipo de ambiente. De modo análogo, Libardi et. al. (2006) verificaram que 30% das salas de aula de uma escola pública de Piracicaba apresentaram níveis de ruído superiores a 85 dB, níveis que, segundo a Legislação Trabalhista Brasileira, tornam os ambientes insalubres para a audição, se a exposição for acima de 8 horas diárias.

Na mesma direção, Oiticica et. al. (2003), em estudo realizado em uma escola pública de Maceió, comprovou a ineficiência das condições acústicas das salas de aula, evidenciando a necessidade de serem investigadas, em outros ambientes de ensino, as relações entre reverberação, relação sinal/ruído e inteligibilidade, haja vista que a compreensão e a percepção do aluno frente à informação perpassada pelo professor vai depender, na maioria das vezes, da adequação destas relações.

A partir dos resultados encontrados nos diversos estudos disponíveis, analisando parâmetros acústicos e suas relações com a inteligibilidade da fala em escolas públicas de outras cidades brasileiras; levando-se, também, em consideração que estudos na área de conforto ambiental, realizados em

estabelecimentos de ensino, registraram que entre as variáveis termofísicas, a variável acústica possui uma importância superior às outras variáveis (térmica, luminínica e qualidade do ar), haja vista ser a que está diretamente vinculada ao entendimento da fala com repercussões no desempenho de professores e alunos; e diante de dados do Ministério da Educação, que apontam uma demanda de alunos para o ensino fundamental na rede municipal superior à rede estadual de ensino, a presente dissertação tem como principal proposta responder ao seguinte problema de pesquisa: **Em que medida parâmetros acústicos das salas de aulas de Escolas Municipais de João Pessoa influenciam na inteligibilidade da fala?**

1.2 Justificativa

Segundo Eniz e Garavelli (2006), o ruído urbano, cada vez mais presente nas residências, nos locais de trabalho, ambientes de lazer, hospitais e nas escolas, interfere nas relações sociais, na comunicação, no comportamento, rendimento escolar e, principalmente, na saúde das pessoas. De fato, a poluição sonora é hoje, depois da poluição do ar e da água, um dos problemas ambientais que afeta o maior número de pessoas (ZANNIN, 2002).

Nesta direção, Araújo e Regazzi (2002) relatam que nenhum dos riscos existentes no ambiente de trabalho se faz tão presente como ruído. Estatísticas do INSS comprovam que o ruído tem sido um agente causador de doenças, estresse ocupacional e acidentes. Estes últimos, muitas vezes, causados pela falta de comunicação no ambiente de trabalho. Portanto, é fundamental que o ruído seja controlado nos ambientes e, sobretudo, naqueles quem envolvem o processo ensino aprendizagem. Aspecto que merece atenção, principalmente, quando se observa que a exposição ao ruído tem diversas consequências, tanto sobre o aparelho auditivo quanto sobre outros aspectos da saúde do trabalhador, principalmente a nível psicológico. (AREZES, 2002)

Os ruídos intensos, acima de 90 dB dificultam a comunicação verbal. As pessoas precisam falar mais alto, prestar mais atenção para entender e serem compreendidas. Isso faz aumentar a tensão psicológica e o nível de atenção. Os ruídos intensos tendem a prejudicar tarefas que exigem concentração mental e certas tarefas que exigem atenção ou velocidade e precisão de movimentos, e os resultados tendem a piorar após duas horas de exposição ao ruído (IIDA, 2005).

No caso específico de edificações escolares, a qualidade acústica é um item pouco considerado no projeto por arquitetos e engenheiros, apesar da fundamental importância em função do tipo de atividade desenvolvida nesses ambientes. Dentre os problemas causados pelo ruído, ressaltam-se a falta de concentração, baixa produtividade, interferência na comunicação e dificuldades na aprendizagem. Segundo Vono-Coube, Belivilacqua e Fernandes (1999), em relação às crianças, o ruído diário pode acarretar problemas de comportamento e distúrbios na voz, além de dificuldade na localização dos sons e no desenvolvimento da fala.

Vallet (2001) afirma que dentre os problemas causados pela exposição ao ruído no ambiente escolar estão: 1) diminuição da atenção e fadiga mental; 2) atraso no aprendizado da leitura; 3) mascaramento da fala com decréscimo da inteligibilidade do conteúdo das aulas e 4) falta de interesse em entender. A fala é o principal meio de comunicação na construção do conhecimento. Qualquer distúrbio que sofra pode afetar a concentração dos alunos e ainda causar prejuízo à saúde dos professores. Pesquisas sobre os efeitos do ruído em crianças da pré-escola têm mostrado uma conexão da exposição do barulho crônico e a alfabetização. Projetos de escolas que dão maior atenção para características acústicas têm como consequência melhor aproveitamento escolar (MAXWELL e EVANS, 2000).

Martins (2002) relata que a criança de hoje é obrigada a aprender em salas barulhentas onde o ruído ambiental compete com a voz do professor, tarefa que exige da criança um elevado nível de atenção. O desempenho acústico de salas de aula é um dos principais aspectos que deve ser considerado em um projeto arquitetônico, visto que este espaço é destinado à realização de tarefas que exigem um alto nível de concentração e que o nível de ruído influencia na percepção do aluno. (KOWALTOWSKI, 2011)

Portanto, como é possível constatar, o nível de ruído é um fator determinante no projeto de salas de aula. Com efeito, salas com bom desempenho acústico são ambientes propícios à aprendizagem e concentração, ao passo que salas ruidosas podem causar danos à saúde de alunos e professores. Celani et. al. (1999) enfatiza que, no ambiente escolar, o ruído não é apenas um incômodo, mas interfere no rendimento das atividades de ensino. Como solução, Gerges (2000) propõe que as medições de ruído e vibrações permitem quantificações e análises precisas de condições ambientais incômodas.

Parece plausível que projetistas de escolas e arquitetos devam iniciar o processo construtivo destas edificações a partir de um planejamento acústico de salas de aula. O melhor modo de resolver problemas acústicos é evitá-los ainda na fase de projeto. Durante o processo de planejamento, problemas acústicos podem geralmente ser evitados com um pouco de reflexão prévia e com uma diferente disposição dos mesmos materiais de construção. Tais considerações podem colaborar para um melhor desenvolvimento da capacidade de aprendizagem dos alunos, ratificando o Artigo 32, parágrafo III, da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional 9.394/1996.

Lubman e Sutherland (2003) afirmam que a reforma de salas de aula mal projetadas oneram os cofres públicos. No entanto, o custo de renovação é pequeno quando comparado com custos sociais provenientes de salas de aula com baixa qualidade acústica, que prejudicam o aprendizado de milhões de crianças. Assim, os autores consideram que na solução do problema de ruído devem-se considerar todas as soluções possíveis e analisar a relação custo/benefício.

Observa-se que, nos países onde há normas e códigos de obras rigorosos, as condições de conforto atingem os níveis adequados na maioria das construções. As pesquisas do ambiente escolar, nestes países, concentram-se na descoberta de detalhes que possam contribuir especificamente para o aumento da aprendizagem. São estudados elementos específicos como: tipo de projeto arquitetônico e de configuração de sala de aula; porte da escola e lotação das salas de aula; agrupamentos de estudantes; lotação e arranjo físico do mobiliário; espaços alternativos; tipos de janelas, luminárias e aspectos da composição da luz; ruídos externos (do bairro); organização do material didático nas paredes das salas de aula (KOWALTOWSKI, 2002).

Segundo Zannin & Zwirter (2009), o tema do conforto acústico nas salas de aula das escolas primárias, nas escolas secundárias, bem como em salas de aula das universidades tem sido o foco de diversos estudos em todo o mundo (Yang & Hodgson, 2005; Kennedy et. al., 2006; Yang & Hodgson, 2006; Hodgson & Scherebnyj, 2006; Yang & Hodgson, 2007a; Yang & Hodgson, 2007b; Yang & Hodgson, 2007c; Zannin & Marcon, 2007; Zannin & Loro, 2007; Astolfi & Pellerey, 2008). Outro foco de estudos mencionado pelos autores tem sido a percepção de ruído por alunos e professores, bem como a influência do ruído sobre as pessoas

(Zannin & Marcon, 2007; Lercher & Meis, 2003; Shield & Dockrell, 2003; Dockrell & Shield 2004)

Verifica-se que a qualidade de uma sala de aula está vinculada a diversas variáveis importantes, entre elas as que compõem a base do conforto ambiental, a saber: térmica, lumínica, acústica e qualidade do ar. Nesta base há uma variável que está diretamente associada à qualidade da aprendizagem do aluno: conforto acústico. Salas de aula são ambientes designados para a aprendizagem, não apenas para crianças em idade escolar, mas para a formação de adultos também. Salas de aula tornaram-se ambientes de comunicação multimídia, aumentando ainda mais a importância da acústica da sala de aula.

Boa acústica para a aprendizagem utilizando-se da comunicação verbal exige baixos níveis de ruído e pouca reverberação. Quando a acústica não é boa tanto o conforto como a saúde vocal do professor podem ser afetadas (RASMUSSEN, 2012). Assim, esta dissertação pretende contribuir com a Secretaria de Educação do Município de João Pessoa, apresentando um panorama acústico atual das salas de aula bem como analisar as possíveis relações entre os parâmetros acústicos e inteligibilidade nas salas de aula de escolas municipais de João Pessoa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a influência de parâmetros acústicos na inteligibilidade da fala em salas de aula das escolas municipais de João Pessoa (PB).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Mensurar parâmetros acústicos das salas de aula.
- Mensurar a inteligibilidade da fala.
- Descrever os padrões arquiteturais (projetos e elementos construtivos) das salas de aula e das escolas.
- Explicar a relação entre os parâmetros acústicos e inteligibilidade da fala.

1.4 Delimitação do Estudo

A realização de uma pesquisa que envolve todos os aspectos inerentes à análise de um tema é uma tarefa difícil e pouco provável de ser executada tendo em vista sua complexidade. No entanto, é possível realizar uma pesquisa eficiente e eficaz a partir da análise de parte dessa realidade (MELO, 2001). Nessa direção, este estudo não pretende analisar todas as salas de aula das escolas municipais de João Pessoa, mas somente aquelas que oferecem turmas do 5º ano do ensino fundamental, tendo em vista que estas turmas possuem uma amostra de alunos mais representativa com maior faixa etária.

Conforme Fernandes (2006); Astolfi et. AL (2008); Han & Mak (2008); Hodgson & Wong (2009); Zannin & Zwirter (2009) e Jianxin (2010), nível de pressão sonora, ruído externo e tempo de reverberação são parâmetros que apresentam maior relação com a inteligibilidade da fala. Assim, nesta dissertação apenas estes parâmetros acústicos foram analisados.

1.5 Estrutura da dissertação

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos descritos a seguir:

- O primeiro capítulo contém a parte introdutória, a definição do tema e questão de pesquisa. Além da justificativa da realização do trabalho, seus objetivos, algumas considerações sobre as contribuições e a delimitação do estudo.
- No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica, onde são abordados os assuntos: Acústica e Parâmetros para avaliação acústica de ambientes; Tipologias arquiteturais e propagação do som; O ruído e suas consequências; Inteligibilidade e O ambiente escolar, compondo assim o eixo temático desta dissertação.
- Os procedimentos metodológicos são descritos no capítulo três. Este capítulo apresenta a natureza e a classificação da pesquisa, identifica a população e a amostra estudada, as variáveis, os indicadores, as técnicas utilizadas para coleta de dados bem como para análise e tratamento destes dados.

- O quarto capítulo apresenta os resultados e a análise dos dados obtidos durante a pesquisa e está estruturado da seguinte forma: Análise descritiva de parâmetros acústicos; Análise dos projetos arquiteturais; Análise da relação entre os Níveis de Pressão Sonora (NPS) levando em consideração projetos antigos e novos e Modelagem Matemática.
- No quinto capítulo encontram-se as considerações conclusivas relacionadas com os objetivos definidos e com as possíveis contribuições científicas, e algumas recomendações.
- Finalizando, são apresentadas as referências bibliográficas consultadas, além dos anexos e apêndices (que contêm informações adicionais).

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre os temas da pesquisa que serão discutidos no trabalho, iniciando pela discussão dos principais conceitos que norteiam o estudo da acústica, levando em consideração as consequências do ruído, sobretudo no ambiente escolar, e finalizando com definições de Modelagem Matemática e Modelo de Regressão Beta.

2.1 Acústica

Acústica é definida por Valle (2009) como o comportamento de um espaço em relação ao som produzido em seu interior. Para Santos e Russo (1999), é uma área da física que se preocupa com o estudo do som, tanto em sua produção e transmissão, quanto na sua detecção pelo ouvido humano. Os autores definem o som como a modificação de pressão que se propaga em meios elásticos, não sendo, portanto, transmitido no vácuo. É o resultado do movimento ordenado e vibratório das partículas materiais que se propagam em oscilação em torno de uma posição de equilíbrio.

Como mencionado, Araújo e Regazzi (2002) relatam que o som consiste em um fenômeno físico causado por qualquer vibração ou onda mecânica que se propague em meio elástico, capaz de produzir excitações auditivas ao homem. De acordo com os autores, quando os sons se misturam e suas frequências não seguem uma lei precisa diferenciando-se entre si por valores imperceptíveis ao ouvido humano surge um som indesejado, denominado ruído.

Segundo Lida (2005), fisicamente, o ruído é uma mistura complexa de diversas vibrações, medido em uma escala logarítmica em uma unidade chamada de decibel (dB). Pode se destacar três características principais, frequência, intensidade e duração.

Fernandes (2003) considera duas definições para o ruído: uma física, em que *“o ruído é todo fenômeno acústico não periódico, sem componentes harmônicos definidos”*; e outra subjetiva em que *“o ruído é toda sensação auditiva desagradável ou insalubre”*.

Para Everest (2001), as medições sempre foram de grande importância para cientistas, pois elas permitem testar em relação à realidade, pressupostos, teorias e equações. Como resultado, sempre se procurou por maneiras de melhorar a precisão das medições. Assim, a medição é o modo mais preciso para quantificar acusticamente salas, por meio da utilização de métodos para medição de parâmetros acústicos é possível um melhor entendimento das correlações entre as medições físicas e as qualidades subjetivas do ambiente.

2.1.1 Parâmetros para avaliação acústica de ambientes

Segundo Valle (2009), parâmetros acústicos são propriedades acústicas de ambientes que influenciam sua “personalidade” sonora e determinam sua melhor ou pior qualidade para execução ou reprodução de música ou da fala. Kendrick et. al. (2008) destacam que tais parâmetros são rotineiramente usados na avaliação e concepção de espaços fechados e/ou semi-fechados tais como salas de concerto, salas de aula e estádios.

Uma característica importante dos parâmetros acústicos ressaltada por Tang (2008) é a alta correlação existente entre eles mesmos através de diferentes bandas de oitava. Os parâmetros acústicos que apresentam maior relação com a inteligibilidade da fala são: Tempo de reverberação, Nível de Pressão Sonora e Ruído Externo (VALLE, 2009; FERNANDES, 2006; ASTOLFI ET. AL., 2008; HAN & MAK, 2008; HODGSON & WONG, 2009; ZANNIN & ZWIRTES, 2009; JIANXIN, 2010).

2.1.1.1 Reverberação e Tempo de Reverberação - TR

Reverberação é o fenômeno que se dá em ambientes fechados. Trata-se do aumento necessário de reflexões de um som emitido e se relaciona diretamente com a inteligibilidade em um recinto (CARVALHO, 2006). Normalmente, escuta-se primeiro o som direto e depois o refletido. Mas quando as duas sensações se sobrepõem, tem-se a impressão de uma audição mais prolongada.

Segundo a NBR 12.179/92 da ABNT, o tempo de reverberação é definido como o tempo necessário para que o som deixe de ser ouvido em um ambiente após a extinção da fonte sonora. Tecnicamente, o tempo de reverberação é o tempo

necessário para que o som sofra um decréscimo de 60 dB, uma vez cessada a emissão sonora. Quanto mais absorventes forem as paredes do local, menor será esse tempo.

O tempo de reverberação depende do volume da sala, da área de absorção dos materiais que compõem as superfícies internas (paredes, teto e piso), da ocupação da sala (pessoas, móveis e objetos), com seus respectivos coeficientes de absorção. (KOWALTOWSKI, 2011)

Astolfi et.al. (2008) aponta que para se alcançar um bom nível de inteligibilidade de fala, mesmo em pequenas salas de aula, é necessário prever o nível do tempo de reverberação. Existem dois modelos para calcular o tempo de reverberação de um ambiente, conforme NBR 12.179/92:

- Modelo de Sabine (utilizado quando o coeficiente de absorção médio (α_m) for menor ou igual a 0,30):

$$TR = \frac{0,16.v}{\sum S_i \alpha_i} \quad (1)$$

Onde:

V= volume do ambiente em m³;

S_i= superfície de cada parede em m²;

α_i = coeficiente de absorção de cada parede;

TR= tempo de reverberação em segundos.

- Modelo de Eyring (empregado quando o coeficiente de absorção médio (α_m) for maior que 0,30):

$$TR = - \frac{0,16.V}{S.\ln(1-\alpha_m)} \quad (2)$$

Onde:

S= área total das paredes do ambiente.

O coeficiente de absorção médio é dado através da equação (4):

$$\alpha_m = \frac{\sum S \alpha}{\sum S} \quad (3)$$

De acordo com Souza *et. al.* (2009) para cada tipo de sala existe um tempo de reverberação (TR) apropriado, com base no volume da sala e nas frequências sonoras das fontes. Esse tempo é chamado tempo ótimo de reverberação.

2.1.1.2. Ruído advindo de fontes externas - REXT

Segundo Andrade (2009), as fontes de ruído externo são aquelas provenientes do entorno envolvente a escola. O ruído ambiental, provocado pelo tráfego rodoviário, ferroviário e/ou aéreo, pelas indústrias e atividades econômicas instaladas e por máquinas e equipamentos, todos eles dentro na envolvente da escola. A possibilidade de determinar o mapa de ruído da envolvente da escola é uma medida importante a ser tomada. O efeito maléfico deste tipo de ruído é tanto maior quanto menor for a preocupação com o isolamento sonoro e com a qualidade sonora ambiental. Pormenorizar esta diretriz é essencial para que a aprendizagem ocorra em boas condições acústicas.

Fontes de ruído externo pontuais, como, por exemplo, obras na via pública, têm um efeito mais grave na concentração da criança do que as fontes de ruído externo lineares, como no caso do ruído tráfego. A NBR 10151/1987 fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independente da existência de reclamações. O nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos está indicado na tabela 1.

Tabela 1 - O nível de critério de avaliação para ambientes externos.

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10151/1987

2.1.1.3. Nível de Pressão Sonora - NPS

Segundo a NBR 10151/2000, o nível de pressão sonora ambiental, ou ruído ambiental ou de fundo (NPS), é o ruído em um determinado local e que não diz respeito ao objeto de apreciação ou medição, representado em dB.

Para Kowaltovisk (2010), o conforto acústico depende das distâncias entre a fonte e o receptor para um determinado NPS, assim como do uso da voz nessas diferentes condições. Por exemplo, se a distância entre quem fala e quem ouve for de 30 cm, e o nível de ruído de fundo for de 65 dB(A), a pessoa pode falar de forma normal, mas se a distância for de 1,2 m, a pessoa precisa falar muito alto.

Conhecer o nível de ruído presente em um ambiente é condição primordial para calcular e/ou prever os demais parâmetros, tornando-se este o principal parâmetro o que torna necessário um conhecimento mais profundo no que diz respeito a suas características e seus efeitos no organismo humano. Para efeito de avaliação de conforto acústico de ambientes, deve-se adotar como base a norma NBR 10152/1987.

No Brasil, as medições dos níveis de pressão sonora devem seguir as diretrizes prescritas pela NBR 10.151/2000, norma que especifica um método para a medição de ruído. Segundo esta norma, no levantamento de níveis de ruído deve-se medir externamente aos limites da propriedade que contém a fonte. 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.). 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. Em ambientes internos devem ser efetuadas 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. As medições devem ser efetuadas nas condições de utilização normal do ambiente, isto é, com as janelas abertas ou fechadas de acordo com o habitual.

Para os efeitos da Norma, aplicam-se as seguintes definições:

- Nível de pressão sonora equivalente (LA_{eq}), em decibels ponderados em “A” [dB (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 (Lra): Nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A”, no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão.

A norma também indica um método alternativo para o cálculo do nível de pressão sonora equivalente, Leq , quando o medidor de nível de pressão sonora não dispõe dessa função. Nesse caso, o nível de pressão sonora equivalente, LA_{eq} , em dB(A), deve ser calculado pela expressão:

$$Leq = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{Li}{10}} \right] \quad (4)$$

Onde:

Leq - é o nível de pressão sonora equivalente, em dB(A);

Li - é o nível de pressão sonora medido a cada instante “i”, em dB(A);

N - é o número total de medições.

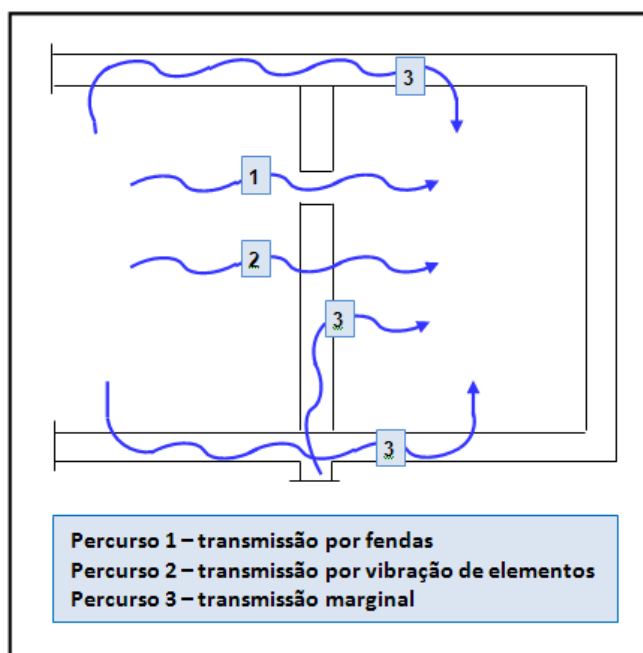
Outra norma brasileira importante é a NBR 10152/1987 - Níveis de ruído para conforto acústico, que fixa os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos.

2.1.2 Tipologias arquiteturais e propagação do som

Segundo Neto (2006), a transmissão da energia sonora que ocorre entre ambientes se dá das seguintes formas (Figura 1): através do ar, pelas aberturas como portas, janelas, etc. (transmissão por fendas, 1); pela estrutura que separa os

dois ambientes, através de vibrações nessa estrutura que são transmitidas de um ambiente para outro (transmissão por vibração de elementos, 2); e por meio da transmissão por flancos (transmissão marginal, 3), através das superfícies limítrofes da estrutura como lajes, pilares etc. A figura 1 ilustra como se dá a transmissão sonora entre ambientes.

Figura 1 - Meios de transmissão sonora



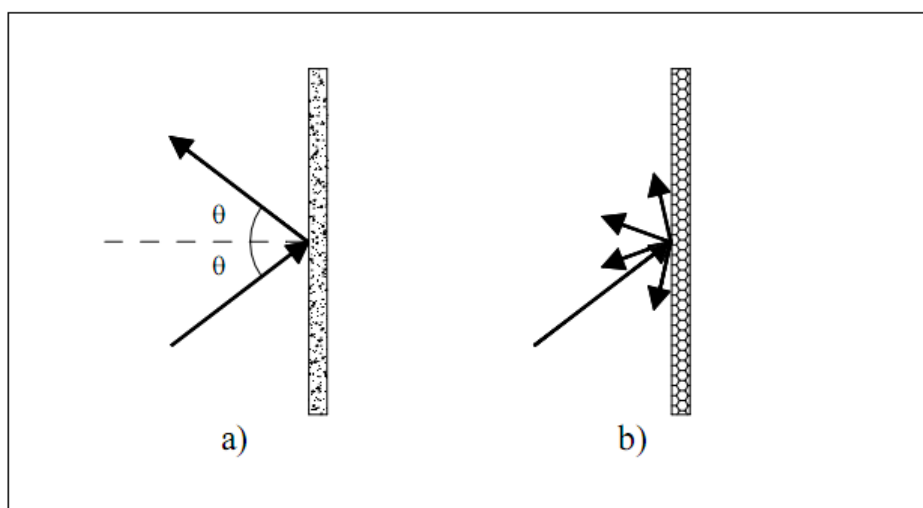
Fonte: Souza (2003)

O som decorrente de uma fonte sonora presente em um local se propaga até encontrar um obstáculo qualquer, que pode ser uma parede ou outro material. Ao encontrar o obstáculo produz um choque das moléculas, fazendo com que parte de sua energia volta em forma de onda de pressão refletida e o restante produza uma vibração das moléculas do novo meio, como se o obstáculo “absorvesse” parte do som incidente. Parte dessa energia de vibração das moléculas do obstáculo será dissipada como calor, devido aos atritos que as moléculas enfrentam no seu movimento ondulatório; outra parte voltará ao primeiro meio, somando-se com a onda refletida, o resto da energia contida na vibração do próprio obstáculo produzirá a vibração do ar do lado oposto, funcionando esse obstáculo como uma nova fonte sonora que criará uma onda em um terceiro meio. (DE MARCO, 2001)

Losso (2003) afirma que a geometria de uma sala pode ser um fator determinante da sua qualidade acústica. A análise geométrica faz uma aproximação e considera a onda sonora como um raio que parte de uma fonte sonora e se propaga em direções determinadas pelas características direcionais da fonte e da frequência do som. Esses raios não possuem significado físico, sendo apenas uma representação das frentes de onda. Para se considerar esta abordagem, é necessário que se contemple uma condição básica, o comprimento de onda deve ser pequeno em relação às dimensões da sala em estudo. Satisfeita essa condição, assume-se que o raio incidente, o raio refletido e a normal à superfície no ponto de incidência estejam no mesmo plano e que os ângulos de incidência e reflexão sejam iguais, fazendo assim uma analogia com as leis da ótica geométrica. (KNUDSEN, HARRIS, 1988; KUTTRUF, 1979).

A figura 2 ilustra como um raio pode ser refletido quando incide em uma superfície. A reflexão poderá ser (a) especular ou (b) difusa. No primeiro caso, o raio refletido possui a mesma angulação em relação a linha normal a superfície e o raio incidente. Já no segundo, isto não ocorre, porque agora existirão raios refletidos em várias direções.

Figura 2 - a) reflexão sonora em superfície especular, b) reflexão em superfície difusora

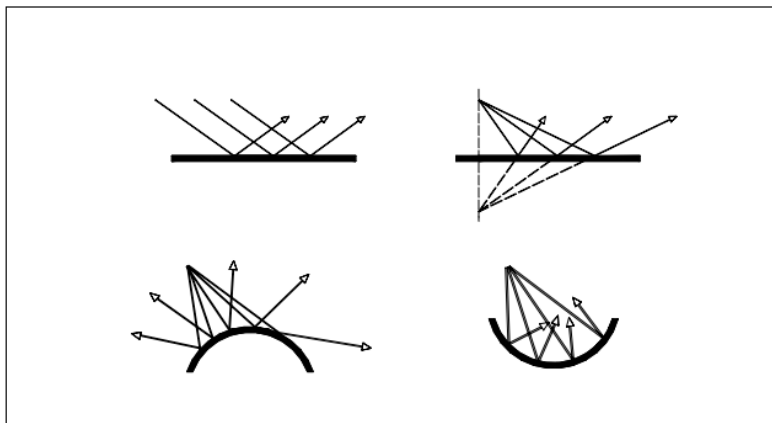


Fonte: Losso (2003)

Segundo Losso (2003), na prática, dificilmente existe apenas um tipo ou outro de reflexão, mas uma mistura de ambos, fazendo com que haja reflexão mista, caso em que, por exemplo, pode ocorrer uma reflexão difusa, mas não para todas as direções. Isso dependerá basicamente dos seguintes itens: (a) material da parede no qual o raio está incidindo, (b) espectro de frequência do som incidente, e (c) forma geométrica da superfície. A quantidade de energia sonora irradiada será tanto menor quanto maior for o coeficiente de absorção do material da parede considerada. Por outro lado, sons com diferentes frequências possuem diferentes comportamentos frente a reflexão. Por último, como normalmente, o som incidente contém um espectro amplo de frequências, o comportamento geral será provavelmente algo entre a reflexão especular e a difusa.

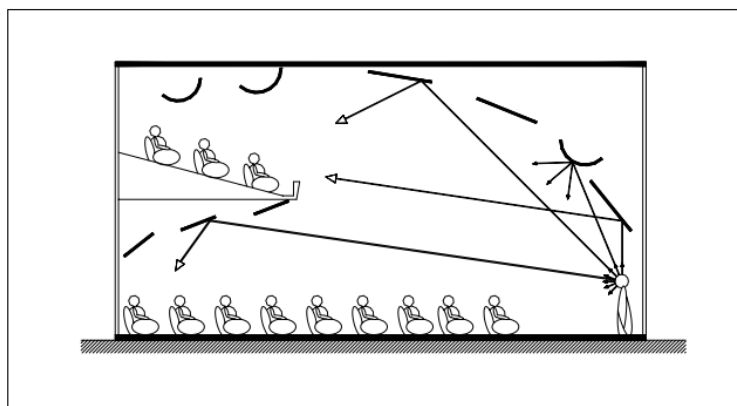
A análise geométrica torna-se importante, pois através dela é possível tirar proveito das reflexões para incremento da inteligibilidade, maximizando as reflexões do ponto de vista da distribuição e da qualidade sonora, facilitando a sobreposição das primeiras reflexões no som original para ouvintes mais distantes da fonte (KNUDSEN; HARRIS, 1988). Também, os modos acústicos da sala serão determinados pelas dimensões: comprimento, largura e altura, promovendo o surgimento de ressonâncias indesejáveis.

A figura 3 ilustra quatro casos de reflexão tratados pela acústica geométrica, considerando a reflexão especular. No primeiro caso, o ângulo de incidência do raio é idêntico ao ângulo de reflexão. No segundo, a reflexão provém de uma fonte virtual situada em um ponto que é a imagem especular da fonte verdadeira. Tais fontes virtuais existem em todas as demais paredes que limitam a sala, que depois de certo tempo fica completamente envolvida por uma série de fontes. No terceiro, é ilustrado como os raios sonoros se espalham quando incidem sobre uma superfície convexa. Este tipo de superfície colabora para o espalhamento do som e melhor difusidade, aspecto que é na maioria das vezes desejado. No quarto e último, a superfície é côncava, fazendo com que o som seja concentrado em um determinado ponto. A não ser que se tenha o objetivo muito específico de concentrar o som, este tipo de superfície não é adequado do ponto de vista acústico.

Figura 3 - Diferentes casos de reflexão sonora

Fonte: Losso (2003)

A Figura 4 mostra como as propriedades de reflexão podem ser aproveitadas para melhorar a qualidade acústica de uma sala. A simples colocação de superfícies refletoras em locais perto da fonte sonora contribui para uma melhor distribuição espacial da energia sonora no ambiente. Locais aonde, em princípio, o som chegaria com dificuldade, pois o som direto, que se caracteriza como sendo o som que percorre única e exclusivamente o menor caminho entre a fonte sonora e o receptor, chega atenuado, podem ser favorecidos com o uso dos painéis, que focalizam os raios sonoros refletidos para onde está a plateia ou para onde o som chegaria com problemas de atenuação.

Figura 4 - Corte exemplar da utilização de placas refletoras em uma sala utilizada para proporcionar distribuição sonora.

Fonte: Losso (2003)

Ainda com relação à geometria, um importante objetivo é se evitar a formação de ondas estacionárias. Essas ondas afetam a distribuição sonora, prejudicando o entendimento por parte dos ouvintes. Assim, devem-se evitar superfícies rígidas e paralelas, que levam a múltiplas reflexões e formam ondas estacionárias. Por fim, Vermelr e Geetere (2002) afirmam que a existência de mobília colabora para se evitar a formação de ecos flutuantes, pois o efeito da difusão permite o espalhamento das ondas sonoras no ambiente.

2.2 O Ruído e suas consequências

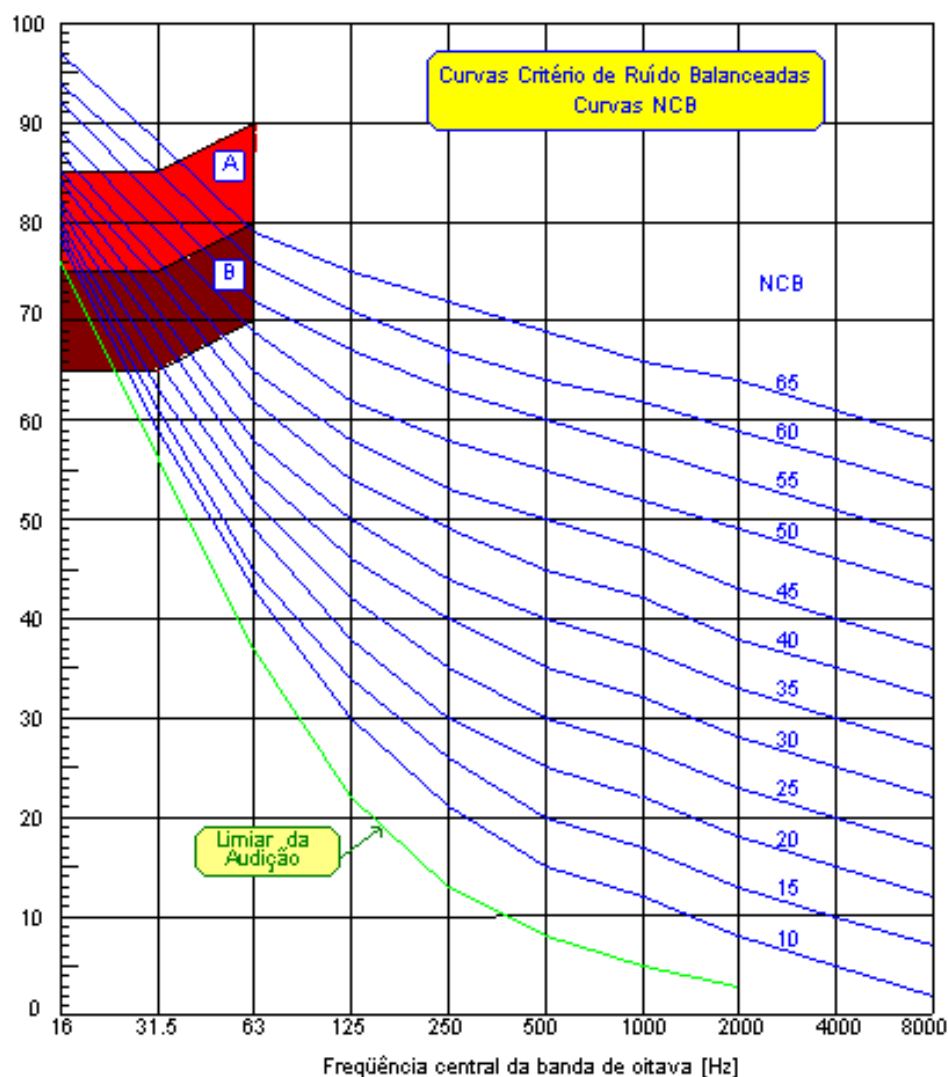
Para Bistafa (2006) ruído pode ser definido como um som sem harmonia, um som indesejável que pode, na maioria das vezes, gerar efeitos também indesejáveis, como: em níveis suficientemente elevados, causar perda da audição e aumento da pressão arterial (efeitos fisiológicos), incômodos (efeitos psicológicos), por exemplo, perturbação do sono, *stress*, tensão, queda do desempenho; interferência com a comunicação oral, que por sua vez provoca irritação; pode causar danos e falhas estruturais (efeitos mecânicos). A presença de ruído durante o processo de comunicação diário causa, muitas vezes, dificuldades na percepção da fala e grandes níveis de estresse, até mesmo em pessoas com audição normal (SOCINI *et. al.*, 2003).

Zannin *et. al.* (2002) estudaram os incômodos causados pelas principais fontes de ruído urbano à população de Curitiba-PR. Setenta e três por cento dos entrevistados apontaram o ruído causado pelo tráfego de veículos automotores como o maior causador de incômodos. As principais reações ao ruído foram descritas como: irritabilidade, baixa concentração, insônia e dores de cabeça.

Atualmente, os níveis de ruído urbano das grandes e médias cidades brasileiras superam consideravelmente os níveis determinados ou considerados adequados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Um método muito utilizado para avaliar o ruído em ambientes é a aplicação das curvas NC (Noise Criterion) de Beranek (1989) (Figura 5). Essas curvas representam o limite de ruído para determinada atividade, visando ao conforto acústico em função da comunicação humana.

Figura 5 - Curvas Balanceadas de Critério de Ruído (NCB).



Fonte: Beranek (1989)

De acordo com a OMS (1980), o limite tolerável ao ouvido humano é de 65 dB(A); acima disto, o organismo sofre de estresse. Este, por sua vez, aumenta o risco de doenças, e com ruídos acima de 85 dB(A) aumenta o risco de comprometimento na audição. Segundo Fernandes (2003), quando uma pessoa é submetida a altos níveis de ruído, existe a reação de todo o organismo a esse estímulo. Dentre os principais efeitos do ruído no organismo o autor destaca: alterações fisiológicas reversíveis, mudanças bioquímicas e efeitos cardiovasculares. Tais efeitos podem ser observados na figura 6.

Figura 6 - Efeitos do ruído no organismo



Fonte: Adaptado de Fernandes (2003)

A Resolução do CONAMA nº 001, de 08 de março de 1990, estabelece padrões, critérios e diretrizes a serem observados na emissão de ruídos, que, em decreto publicado no Diário Oficial da União, de 02 de abril de 1990, Seção I, Pág. 6.408, cita a Norma Brasileira Registrada - NBR 10.152/87. Segundo esta norma, constituem prejuízos à saúde e ao sossego público a emissão de ruídos, em decorrência de qualquer atividade industrial, comercial, social ou recreativa, inclusive as de propaganda política, os ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis.

O Ministério do Trabalho (BRASIL, 1978) considera que o ruído se torna fator de risco da perda auditiva ocupacional se o nível de pressão sonora e o tempo de exposição ultrapassarem certos limites. A Norma Regulamentadora - NR 15, da Portaria nº 3.214/78, estabelece os limites de tolerância para a exposição a ruído

contínuo ou intermitente e para ruído de impacto, vigentes no país. A máxima exposição diária permitida em nível de ruído contínuo é de 85 dB(A) para oito horas de exposição. As atividades ou operações que expõem os trabalhadores a níveis de ruído contínuo ou intermitente, superiores a 115 dB(A), sem proteção adequada, oferecem risco grave ou iminente (RODRIGUES, 2004).

A NR 17.1 da Portaria nº 3751/90 estabelece parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente.

Os valores permitidos para ambientes escolares, segundo a NBR 10152/1987, destacados na Tabela 2, são relativos aos níveis de conforto acústico para salas de aula. Estes valores serão utilizados como parâmetros mínimos e máximos na presente pesquisa.

Tabela 2 - Níveis de som para conforto

	LOCAIS	dB (A)	NC
Hospitais:	Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centro Cirúrgico	35 – 45	30 – 40
	Laboratórios, Áreas para uso público	40 – 50	35 – 45
	Serviços	45 – 55	40 – 50
Escolas:	Bibliotecas, Salas de música, salas de desenho.	35 – 45	30 – 40
	Salas de Aula, Laboratórios.	40 – 50	35 – 45
	Circulação	45 – 55	40 – 50
Hotéis:	Apartamentos	35 – 45	30 – 40
	Restaurantes, Salas de Estar.	40 – 50	35 – 45
	Portaria, Recepção, Circulação.	45 – 55	40 – 50
Residências:	Dormitórios	35 – 45	30 – 40
	Salas de Estar	40 – 50	35 – 45
Auditórios:	Salas de Concertos, Teatros	30 – 40	25 -30
	Salas de Conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 – 45	30 – 35
Restaurantes		40 – 50	35 – 45
Escritórios:	Salas de Reunião	30 – 40	25 -35
	Salas de gerência, salas de projetos e de administração	35 – 45	30 – 40
	Salas de computadores	45 – 65	40 – 60
	Salas de Mecanografia	50 – 60	45 -55
Igrejas e Templos (cultos meditativos)		40 – 50	35 -45
Locais para esporte: Pavilhões fechados para espetáculos a atividades esportivas		45 – 60	40 – 55

Fonte: NBR 10.152/87 – Níveis de ruído para conforto acústico

2.3 Inteligibilidade

Segundo Carvalho (2010), inteligibilidade é a principal característica acústica de um ambiente, pois reflete o grau de entendimento das palavras em seu interior. Para locais onde a comunicação é primordial a boa inteligibilidade acústica é um fator decisivo. A definição comum de inteligibilidade corresponde à qualidade do que é inteligível, ou que se ouve bem, ou ainda que se entende bem. Levitt e Webster (1991) definem inteligibilidade da palavra como sendo o entendimento das palavras faladas.

Para Fernandes (2003), o conceito de inteligibilidade é bastante genérico, podendo ser definido como a razão pela qual nós entendemos os sons. Pode ser aplicada a ambientes, a sistemas de comunicação, em testes de equipamentos de áudio, em testes de audição, em avaliação de próteses auditivas, em avaliação de protetores auriculares, etc. A inteligibilidade pode ser aplicada à linguagem, ao canto, a notas musicais, ou até a outros sons. Como a voz é o som ouvido em mais de 90 % das vezes em nosso dia-a-dia, a inteligibilidade da fala é mais usual.

Grande parte das experiências referentes à qualidade da comunicação oral depende da existência de uma técnica ajustada para medir a inteligibilidade da palavra. Durante um discurso, os órgãos vocais humanos produzem ondas sonoras com diferentes características, com níveis distintos de intensidade sonora, diferentes durações, frequências fundamentais distintas e diferentes componentes espectrais. Estas características têm importâncias distintas na inteligibilidade da palavra e existem vários métodos, aplicáveis aos testes de inteligibilidade da palavra, que se podem utilizar para descobrir a importância das mesmas.

Makrinenko (1994) afirma que a inteligibilidade da fala é determinada por características acústicas tais como: nível do sinal da fala, nível de ruído de fundo, tempo de reverberação e padrão das reflexões do som. Portanto, a boa inteligibilidade é determinada pelo alto nível da fala, baixo nível de ruído, menor tempo de reverberação e padrão de reflexão breve e sem atraso acentuado de reflexões iniciais.

Pode-se afirmar que a qualidade da comunicação verbal pode ser quantificada pela inteligibilidade da fala. As normas técnicas ANSI S3.2, 1990 e ISO TR 4870 1991 contêm detalhes sobre os procedimentos e materiais para aplicar os testes de inteligibilidade da fala. Segundo Fernandes (2003), a inteligibilidade da fala

em ambientes pode ser calculada, predita e medida. É mensurada por várias formas, que podem ser agrupadas em métodos subjetivos e analíticos.

Os métodos subjetivos são aqueles que utilizam pessoas na avaliação. Consiste em distribuir pessoas com audição normal no ambiente a ser estudado e, através de um orador, pronunciar um lote de palavras normalizadas, que são anotadas pelos ouvintes. A porcentagem de acerto é chamado de Índice de Discriminação da Fala (IDF). Os métodos analíticos se baseiam em parâmetros acústicos do ambiente, buscando obter um índice que avalie a inteligibilidade.

Segundo Lecastre (1988), os métodos subjetivos de inteligibilidade da palavra são métodos de realização muito demorada e que obrigam ao uso de grandes recursos humanos. Por estas razões, é por vezes vantajoso recorrer ao uso de métodos analíticos, isto é, com uso de equipamentos e sem a intervenção subjetiva de auditores.

Desde os anos 40 que foram se desenvolvendo diversos métodos para avaliar o efeito do ruído de fundo e da reverberação na inteligibilidade. Procurou-se encontrar métodos de cuja utilização fosse possível prever a inteligibilidade através da medição de um parâmetro apropriado ou de uma série de parâmetros. Um dos primeiros métodos desenvolvidos para avaliar a inteligibilidade, sob condições de ruído, foi o *Articulation Index* (AI). Este foi estudado por French e Steinberg, em 1947, vindo depois a ser desenvolvido por Kryter, Beranek, entre outros, e publicado como uma Norma ANSI em 1969.

Outro método é a Percentagem de Consoantes Perdidas (% ALCONS), que estabelece uma medição diretamente correlacionada com a percentagem de consoantes. Este método foi criado na Holanda em 1971, por Peutz e Klein que estabeleceram uma equação (5) para, a partir das características acústicas de uma sala e de uma fonte sonora, calcular diretamente a perda de articulação ALCONS (Articulation Loss of Consonants).

$$ALCONS = \frac{200.D^2.TR}{V.Q} \% ; D \leq DL \quad (5)$$

Onde D é a distância entre a fonte e o ouvinte, DL é a distância crítica, TR é o tempo de reverberação, V é o volume da sala e Q é a diretividade da fonte sonora. Os valores de ALCONS são interpretados conforme quadro 1.

Quadro 1- Classificação dos valores de ALCONS

Valores de ALCONS	
0 a 5%	Excelente
5% a 10%	Bom
10% a 15%	Aceitável
Acima de 15%	Inaceitável

Fonte: Valle (2009)

O "*Speech Transmission Index*" (STI) é um método cujo conceito é muito similar ao AI. É de maior aplicabilidade, tendo em consideração o efeito do ruído de fundo e da reverberação na inteligibilidade da palavra. A determinação da qualidade de transmissão e recepção da palavra no domínio da inteligibilidade baseia-se na diminuição da taxa de modulação de um sinal de experiência, que simula as características acústicas da voz humana, desde que o sinal seja transmitido numa sala (CEI 268- 16, 1988). O sinal sonoro é emitido por uma fonte sonora, situada na posição do orador e vai ser recebido por um microfone situado no lugar do receptor. As principais características da fonte sonora são a dimensão física, a direção, a posição e o nível de pressão sonora. (MAPP, 1997)

Segundo Müller (2005), dos múltiplos parâmetros acústicos objetivos que podem ser obtidos, mediante simulação e medição da conjuntura acústica, o que mais se popularizou nas últimas três décadas e foi introduzido em normas e regulamentos de vários países, é o STI (*Speech Transmission Index*). Este índice leva em consideração tanto a reverberação e os ecos das salas quanto o ruído de fundo, sendo, portanto, sensível aos dois maiores inimigos da inteligibilidade. Além disso, ao contrário de outros parâmetros acústicos conhecidos, o resultado é um índice simples, de fácil interpretação, que ocupa valores entre 0 (fala completamente ininteligível) e 1 (ótima inteligibilidade), variando de acordo com o quadro 2.

Quadro 2 - Avaliação do STI

Valor do STI	Avaliação segundo a IEC 60268-16
0.75 – 1	Excelente
0.6 – 0.75	Bom
0.45 – 0.6	Adequado
0.3 – 0.45	Fraco
0 – 0.3	Péssimo

Fonte: IEC 60268-16/2003

Duas outras medidas de inteligibilidade podem ser encontradas a partir do STI, o Common Intelligibility Scale (CIS) e o índice de articulação %AICons . Através da equação 5 obtém-se

$$STI = e^{CIS-1} \quad (6)$$

Pode-se obter o CIS:

$$CIS = 1 + \log(STI), \text{ CIS} \in [0,1] \quad (7)$$

Por outro lado, conforme Muller (2005), Farell-Becker encontrou a equação (8) que avalia a relação entre %AICons (equação 5) e STI.

$$\%AICons = 170.5405 \cdot e^{-5.419 \cdot STI}, \%AICons \in [0,100] \quad (8)$$

Assim, a partir das equações (5) e (8) pode-se encontrar o valor de STI através da equação (9).

$$\frac{200.D^2.TR}{V.Q} = 170,5405 \cdot e^{-5,419.STI}$$

$$\frac{200.D^2.TR}{170,5405.V.Q} = e^{-5,419.STI}$$

$$\log\left(\frac{200.D^2.TR}{170,5405.V.Q}\right) = -5,419.STI$$

$$STI = \frac{-\log\left(\frac{200.D^2.TR}{170,5405.V.Q}\right)}{5,419} ; D \leq DL \quad (9)$$

Onde:

D é a distância do ouvinte à fonte sonora, V é o volume do ambiente, Q é a diretividade da fonte sonora e D_L a distância crítica. Esta é a distância limite em que a intensidade sonora, devido ao som direto da fonte sonora, é igual à intensidade do campo reverberante, conforme equação 10.

$$D_L = 0,141 \cdot \sqrt{Q \cdot A} \quad (10)$$

Onde:

Q é a diretividade da fonte sonora e A é o coeficiente de absorção total.

A forma de expressar a diretividade de uma fonte sonora em um ponto qualquer do espaço é mediante o denominado fator de diretividade Q. Este fator

depende da relação entre o nível de pressão sonora produzido pela fonte sonora na direção considerada e o nível que se obteria se a fonte não fosse diretiva. Quanto maior o NPS em uma direção determinada, maior será o valor de Q nesta direção.

De acordo com Smith et. al. (1996), o fator de diretividade Q de uma certa fonte é definido como

$$Q = \frac{\text{intensidade sonora em uma certa direção a uma certa distância } r}{\text{intensidade média em todas as direções a mesma certa distância } r} \quad (11)$$

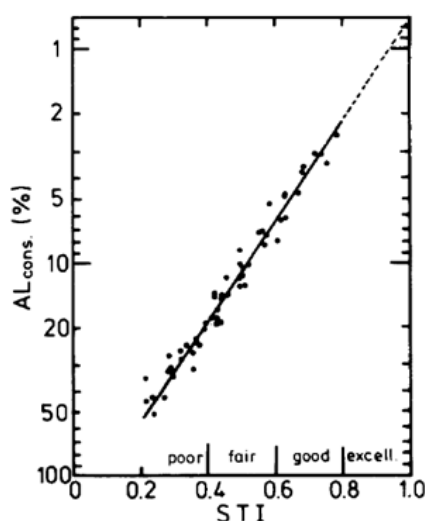
Ainda segundo estes autores, a intensidade média é aquela que seria produzida se a energia fosse uniformemente irradiada em todas as direções. As intensidades podem ser somadas e a média pode ser feita aritmeticamente. No entanto, as medições são feitas de maneira mais conveniente usando-se a pressão sonora em decibéis. Desse modo, encontra-se o índice de diretividade (Dir), que é a diferença entre o nível de pressão na direção desejada e a média logarítmica do nível de pressão em todas direções; todas as medidas feitas na mesma distância da fonte. Este índice se relaciona com o fator de diretividade pela equação (12)

$$Q = e^{\frac{Dir}{10}} \quad (12)$$

Para o presente estudo, como a fonte sonora é a voz do professor, utilizou-se o valor típico de $Q = 2,5$ para a voz humana, de acordo com Valle (2009).

A figura 7, expressa a relação linear entre STI e ALCons, obtida para um conjunto de condições; na medida em que o STI aumenta o ALCons diminui.

Figura 7 - Relação entre o STI e ALCons, obtido para um conjunto de condições.



Fonte: Houtgast (1981)

2.4 O ambiente escolar

Segundo Kowaltowski (2011), a composição de um ambiente escolar depende das condições econômicas, sociais e culturais. A educação de qualidade depende de um ambiente de ensino com um grande número de componentes que devem trabalhar em sintonia com o objetivo de aprofundar e ampliar o aprendizado dos alunos

O ambiente depende de características das pessoas presentes, do sistema educacional adotado, do suporte da comunidade e da infraestrutura disponível. A escola também depende da qualidade dos espaços que abrigam as atividades pedagógicas desenvolvidas. Logo, como mencionado, a arquitetura escolar tem um papel fundamental ao propiciar um ambiente de ensino adequado, sendo considerado o terceiro professor, tendo em vista que o primeiro é o profissional da educação e o segundo, o material didático.

2.4.1 Arquitetura e Conforto Acústico no Ambiente Escolar

É a partir do desenvolvimento do projeto de arquitetura que se constitui o espaço físico escolar. A concepção arquitetônica dos prédios escolares depende da situação socioeconômica e política, mas deve se preocupar com os conceitos educacionais e de conforto necessários para atingir a qualidade do sistema ensino/aprendizagem.

O prédio de uma escola é a concretização de uma visão da educação e de seu papel na construção da sociedade (BRITO CRUZ; CARVALHO, 2004). A evolução da arquitetura escolar está diretamente ligada à história da humanidade e é essencial o conhecimento histórico para compreender a realidade escolar em cada momento específico. As tendências na arquitetura escolar caminham paralelamente às mudanças nas formas de ensino. O aluno e o professor passam mais tempo na escola, muitas vezes o dia todo, com necessidade e direito a áreas de descanso ou repouso, e boa alimentação, em um ambiente agradável.

A disposição espacial da maioria das escolas no Brasil ainda segue os padrões tradicionais, com carteiras enfileiradas e o professor em frente ao quadro-negro. Segundo Ornstein e Borelli (1995), nos poucos registros sobre a arquitetura escolar da época do Império, consta um sistema unificado para todo território

nacional, que estabelecia um padrão pedagógico e arquitetônico voltado para a educação religiosa. Para Buffa e Pinto (2002), foram herdadas do Império escolas de ler e escrever que, muitas vezes, eram a extensão da casa do professor, funcionando em paróquias, cômodos de comércio, em salas pouco ventiladas e pouco iluminadas, fruto da falta de organização. O processo de organização do espaço escolar, considerando o vínculo edifício/escola e conceitos educacionais, surge a partir das exigências das escolas primárias, que se organizaram em classes sequenciais.

Segundo a Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE, 1998), desde o século XIX, vários órgãos do poder público foram responsáveis pelo planejamento, construção e manutenção dos estabelecimentos de ensino no Brasil, com várias tentativas de se traçar diretrizes ou “padrões” para a construção das edificações escolares. Como consequência das tentativas de padronização da construção de escolas públicas, verifica-se uma semelhança na concepção dos projetos arquitetônicos, diferentes apenas na implantação (AMORIM, 2007).

Na maioria dos Estados brasileiros, a responsabilidade da construção dos prédios escolares públicos ficou, inicialmente, a cargo do Departamento de Obras Públicas ou da Secretaria de Viação e Obras Públicas. Em alguns casos, foram criados órgãos responsáveis especificamente pela construção de escolas públicas para o ensino fundamental e médio (BUFFA; PINTO, 2002).

No contexto brasileiro, considerando a análise de Kowaltowski (2011) a maioria das edificações escolares, construídas nos últimos trinta anos, apresenta arquitetura bastante padronizada. A inclusão da quadra de esportes, por exemplo, influencia o volume da edificação escolar e, em alguns casos, interfere no desempenho acústico da escola porque o isolamento das vibrações de atividades esportivas exige detalhamento e qualidade construtiva, nem sempre atingida em contratos de obras públicas. Contrata-se a empresa que oferece o melhor preço, para tanto são empregados materiais, em função do baixo custo, de baixa qualidade.

De fato, muitas edificações escolares seguem um projeto padrão. Entretanto, a padronização nem sempre leva em conta situações locais específicas, resultando em ambientes escolares desfavoráveis, com problemas de conforto ambiental. O que releva a necessidade de flexibilidade, a fim de permitir ajustes às condições peculiares de implantação. O projeto padrão para instituições como escolas, hospitais e creches é uma prática comum em projetos públicos de interesse social,

que usam programas de necessidades padronizados das atividades estipuladas pelos órgãos administrativos de equipamentos urbanos. Busca-se atender aos objetivos econômicos, à racionalidade construtiva e à funcionalidade.

Os argumentos a favor da padronização são a economia pela produção em massa, a redução de custo de projeto e o tempo de elaboração. Defende-se que o produto (projeto e obra) pode alcançar uma qualidade superior em relação às obras não padronizadas, em virtude da mão de obra especializada em construções repetidas. Essa prática deve reduzir falhas na execução, principalmente porque a equipe recebe treinamento para serviços iguais. Outro argumento é que a repetição de obras pode permitir introduzir correções quando o projeto padrão é construído, testado e avaliado. A possibilidade de montagem rápida de módulos pré-fabricados, como as salas de emergência portáteis ou contêineres e as chamadas “escolas de lata”, é outro argumento para defender a padronização em projeto (KOWALTOWSKI, 2011).

Outro fator para utilização de projetos padrão nas edificações públicas é o desejo de que sejam identificadas a uma determinada administração, ou a um determinado momento político. O reconhecimento da tipologia construtiva é considerado importante, como uma assinatura ou um símbolo da gestão.

A arquitetura escolar e a satisfação do usuário em relação à qualidade do ambiente estão diretamente ligadas ao conforto ambiental, que inclui os aspectos térmico, visual, acústico e funcional, proporcionados pelos espaços externos e internos. As questões de conforto abordam diversos fatores, tais como a qualidade do ar, as condições de ventilação, de comunicação verbal, os níveis de iluminação, a disponibilidade do espaço e quais os materiais de acabamento. Os elementos construtivos podem ser avaliados em relação às patologias e às questões de manutenção e higiene. Ambientes escolares são ricos em informações e podem ter avaliações em relação à satisfação dos usuários e à aprendizagem dos alunos, medindo-se a produtividade do ambiente (KOWALTOWSKI, 2010).

Segundo Gifford (1997), observa-se que nos países onde há normas e rigorosos códigos de obras, as condições de conforto atingem níveis mínimos na maioria das suas construções, e as pesquisas do ambiente escolar se concentram em detalhes que contribuem para a aprendizagem. Estudam-se elementos específicos como: tipo de projeto arquitetônico e de configuração de sala de aula; porte da escola e lotação das salas de aula; agrupamentos de estudantes; lotação e

arranjo físico do mobiliário; espaços alternativos; tipo de janelas; luminárias e aspectos da composição da luz; ruídos externos (do bairro), entre outros.

Ainda na perspectiva de Gifford (1997), pode-se afirmar que o conforto ambiental é uma parceria entre ambiente físico (características do local, arquitetura da edificação e uso do ambiente) e usuários do espaço. No ambiente escolar, são essenciais as pesquisas das condições de conforto ambiental e a possibilidade de introduzir melhorias, para propiciar um ambiente adequado ao ensino. A importância do conforto ambiental em relação à produtividade, no trabalho ou na aprendizagem, depende em primeiro lugar do projeto do edifício e de seus ajustes às atividades do usuário. A literatura sobre projetos de prédios escolares é vasta e, em sua maioria, discute a arquitetura em relação a fatores como a teoria e as tendências educacionais.

O desempenho das escolas pode ser relacionado a questões socioeconômicas dos estudantes, à idade da edificação, aos métodos de ensino, ao currículo, aos materiais didáticos e à infraestrutura disponível na escola (LACKNEY, 1994; LACKNEY, LONG, 2006). A organização EFL (Educational Facilities Laboratories) relaciona a aprendizagem a fatores como condições internas e qualidade do ar, temperatura e umidade, ventilação e iluminação e acústica de salas de aula.

Lubman e Sutherland (2003) afirmam que a falta de uma boa acústica na sala de aula pode ser a explicação para a dificuldade com a lição de casa de alguns estudantes e para o desgaste físico dos professores. As condições acústicas em muitas salas de aula são inadequadas para algumas atividades, como aprender a ler, ouvir ou entender uma matéria nova. Nível de ruído elevado ou reverberação excessiva pode frustrar e desencorajar estudantes e professores. Normalmente, os professores colocam nível de ruído elevado em sua lista de reclamações. Os estudantes, por sua vez, não notam que as condições acústicas contribuem na dificuldade de seu aprendizado.

Para Jesper et. al. (2011), além das condições acústicas do ambiente, o número de crianças na sala podem contribuir para o ruído incômodo, porque o número de fontes de som (fala, ruídos móveis) aumenta com o número de crianças. Não são apenas problemas auditivos os causadores de baixo aproveitamento ou reprovações escolares. A dificuldade em isolar diversos parâmetros que possam influenciar no desempenho acadêmico torna a questão bastante complexa. Existem

diversos problemas encontrados em uma escola que afetam o aluno: conforto ambiental, aspectos sociológicos, pedagógicos e até mesmo políticos. Porém, é inegável que condições acústicas inadequadas influenciem no ambiente escolar de forma negativa. (MENEGON, 2007; XIE et. al., 2011).

Hoje, a preocupação acústica não é apenas uma questão de condicionamento acústico do ambiente, mas também de controle de ruído e preservação da qualidade ambiental. A questão acústica passa a ter mais importância do que, até então, pois o número de fontes produtoras de ruído é cada vez maior e as consequências desses ruídos para o homem são cada vez mais prejudiciais (SOUZA, 2003).

Segundo Iida (2005), os ruídos intensos, acima de 90 dB, dificultam a comunicação verbal. As pessoas precisam falar mais alto e prestar mais atenção, para serem compreendidas. Isso tudo faz aumentar a tensão psicológica e o nível de atenção. Os ruídos intensos tendem a prejudicar tarefas que exigem concentração mental e certas tarefas que exigem atenção ou velocidade de precisão dos movimentos, e os resultados tendem a piorar após duas horas de exposição ao ruído.

De acordo com Mehlaui et. al. (2004), um dos principais fenômenos observados nos dias atuais diz respeito aos problemas e dificuldades relacionados à voz do professor, que enfrenta jornadas extras de trabalho, ministrando aulas em cursos de finais de semana, onde são exigidas horas seguidas de atividade vocal. No caso específico de edificações escolares, a qualidade acústica é um item pouco considerado por arquitetos e engenheiros no projeto, apesar da fundamental importância em função do tipo de atividade desenvolvida nesses ambientes.

Elevados níveis de ruído e/ou condições de reverberação inadequadas desfavorecem o processo de aprendizagem, chegando, até, a contribuir para um baixo aproveitamento por parte dos alunos. Em relação aos professores, o não atendimento de critérios de conforto acústico ocasiona um esforço vocal excessivo, aspecto que não garante uma melhor inteligibilidade da fala. Paralelamente, a questão normativa sobre o tema está muito aquém do desejado, não existindo recomendações adequadas em nível nacional. A situação demonstra a necessidade urgente do estabelecimento de parâmetros mínimos de aceitabilidade de edificações escolares (MENEGON, 2007).

Segundo Han e Mak (2008), projetos de salas de aula que contemplam boas condições acústicas podem melhorar diretamente a eficiência da aprendizagem dos

alunos. Projetos acústicos eficazes são importantes e necessários para que seja atingido um alto grau de inteligibilidade da fala para os ouvintes. Celani *et. al.* (1994) relatam que, até pouco tempo, a exposição ao ruído era pouco investigada em ambientes onde aparentemente a audição não corria riscos. As pesquisas voltavam-se principalmente para a audição de trabalhadores, ou seja, indivíduos sujeitos as doenças ocupacionais. O crescente aumento de pessoas envolvidas com doenças e distúrbios considerados não ocupacionais fez com que artigos sobre os efeitos do ruído não ocupacional começassem a surgir nas últimas décadas.

As consequências relativas aos problemas acústicos em escolas são significativas e aparecem de maneira direta e indireta em diversas pessoas envolvidas e em diferentes setores da sociedade, inclusive em professores que ministram aulas em salas onde os níveis de pressão sonora são elevados; uma dessas consequências é o desempenho vocal prejudicado, que contribui diretamente para diminuir a produtividade do professor. Com relação aos problemas de cunho social estão: professores afastados do trabalho, custo do tratamento de recuperação vocal do professor, tratamento de recuperação auditiva de professores, alunos e funcionários da escola, contratação de professores substitutos, custo individual e social de baixo aproveitamento escolar e reprovações, dentre outros.

Silva (1991) menciona que o atendimento às condições acústicas adequadas de trabalho resulta na diminuição de faltas, por doenças ou acidente, com consequente aumento da produtividade, caso em que o professor se enquadra plenamente. Santos (1996) cita como consequências da exposição prolongada ao ruído o absenteísmo, cefaleia e alta incidência de acidentes de trabalho. O custo social disso torna-se bastante elevado, pois os professores deixam de exercer sua profissão e alunos deixam de receber educação adequada. Devem-se destacar, também, de acordo com Menegon (2007), outras consequências para os alunos, já que a mudança de professor significa mudança de métodos de ensino, levando algum tempo para readaptação e sendo um fator determinante para a diminuição na capacidade de aproveitamento escolar.

Voltando à questão da acústica, Bradley, Reich, Norcross (1999) e Bradley (2002) sugerem que dois pontos principais devem ser seguidos para se obter uma boa acústica nas salas de aula. O primeiro seria a redução do ruído de fundo do ambiente para níveis admissíveis e recomendados para a atividade. Nestes casos o valor é próximo de 30 dB(A) (BRADLEY, 1996). Consequentemente, essa redução

levaria a um aumento na razão sinal/ruído, colaborando para uma melhor inteligibilidade e, também, para permitir a redução do esforço vocal pelo professor. O segundo ponto seria a adequação qualitativa interna da sala através da correta especificação do tempo de reverberação

A inteligibilidade de 100% das palavras fáceis exige uma intensidade de voz 10 dB(A) acima do ruído de fundo, que nas cidades brasileiras geralmente passa dos 70 dB(A). Isto pode estressar as cordas vocais de quem fala e incompatibilizar as condições de concentração para atividades mentais e psicológicas de quem escuta (PIMENTEL; SOUZA, 1992).

As condições acústicas das salas de aula precisam ser consideradas com responsabilidade, por sua real influência no processo de ensino e aprendizagem e, conseqüentemente, na vida das pessoas. Em uma sala de aula, a comunicação entre alunos e professores é necessária para o aluno ouvir e entender o que é dito, sem níveis elevados de ruído, que prejudicam o desempenho do aluno e aumentam o desgaste dos professores. Para avaliar as condições de conforto acústico de um ambiente é necessário verificar a qualidade interna do ambiente e a influência do meio externo.

A qualidade interna se refere à geometria do espaço, à absorção sonora e à potência e localização das fontes sonoras. A influência do meio externo associa-se a fontes de ruído e à qualidade do isolamento das aberturas, e esses ruídos provêm de trânsito, atividades industriais, atividades comerciais e atividades de lazer, muitas vezes da própria escola. Os ruídos internos referem-se a impactos, vozes e reverberação de som. Ambos, ruídos externos e internos, resultam em falta de privacidade e dificuldade de comunicação verbal em salas de aula (KOWALTOWSKI et. al. 2002).

As pesquisas demonstram que a condição acústica de uma sala de aula é uma variável importante que contribui para as atividades escolares das crianças, tanto as que têm audição normal quanto aquelas com algum problema de audição. Por exemplo, a condição acústica de uma sala de aula foi identificada como um fator crítico nos desenvolvimentos psicoeducacional e psicosocial das crianças com problemas de audição. Os níveis impróprios de ruídos das salas de aula, e/ou a reverberação, têm efeito nocivo não só na percepção oral, como também na leitura, pronúncia, conduta, atenção e concentração das crianças (ASHA, 2003; CRANDELL; BESS, 1997; CRANDELL; SMALDINO; FLEXER, 2005).

Como é possível observar, os danos causados pela acústica precária em uma sala de aula ocasionam sofrimento e faz com que, geralmente, os professores fiquem menos dispostos a falar ou falem por períodos mais curtos, quando os níveis de ruído são altos. Alguns professores têm o poder limitado para falar ou têm problemas de audição, e as salas de aula com deficiências acústicas aumentam essas limitações. As deficiências na leitura e na linguagem dos alunos decorrentes das más condições acústicas são cumulativas e nocivas ao desenvolvimento educacional. Muitas crianças se tornam adultos menos capazes pelo descaso às suas necessidades de audição.

A percepção da qualidade acústica também é um reflexo das experiências sensoriais dos indivíduos que irão utilizar os espaços, como mostrado nas recentes pesquisas neurológicas desenvolvidas pela Medicina. Entretanto, os fatores de qualidade acústica devem ser definidos em função dos valores dos usuários e do tipo de uso que terá o edifício (DUDEK, 2007). Em países de clima quente, como, por exemplo, o Brasil, os parâmetros acústicos se chocam com os parâmetros térmicos. Deste modo, salas com aberturas e ventilação natural sofrem com falta de inteligibilidade.

2.4.2 A importância de Inteligibilidade da fala no ambiente escolar

Falar e ouvir são os principais modos de comunicação em uma sala de aula. As condições acústicas desempenham um papel crítico na criação de um ambiente de aprendizagem ideal. Boa qualidade acústica e alto nível de inteligibilidade da fala são essenciais. (JIANXIN, 2010). Na prática, a maioria dos alunos é capaz de ouvir o professor, mas nem todos podem realmente entender o que está sendo dito. Segundo Subramaniam e Ramachandraiah (2006), a capacidade de se comunicar de maneira eficaz dentro de uma sala de aula depende de alguns elementos básicos: tempo de reverberação, relação sinal ruído e nível de pressão sonora.

As más condições acústicas reduzem a inteligibilidade da fala nas salas de aula e afetam a atenção e o desempenho acadêmico dos alunos (JIANG, 1997). Para que um bom nível de inteligibilidade seja alcançado, mesmo em pequenas salas de aula, é necessária a previsão exata do nível do tempo de reverberação (PICARD; BRADLEY, 2001). Astolfi et. al. (2008) afirmam que existem vários modelos para prever o tempo de reverberação, alguns dos quais foram testados especificamente

em salas de aula. De acordo com os autores, a teoria do campo difuso é comumente usada para determinar tanto o tempo de reverberação (equações de Sabine e Eyring) e o nível do som reverberante.

Segundo Jianxin (2010), vários estudos sobre condições acústicas de salas de aula já foram publicados, a maioria deles relaciona tempo de reverberação, ruído de fundo e relação sinal ruído (PICARD e BRADLEY, 2001; BISTAFA e BRADLEY, 2000; HODGSON et. al., 1999; BRADLEY, 1986; HODGSON e NOSAL, 2002). Alguns investigaram a relação entre tais fatores e a inteligibilidade da fala por meio de uma série de estudos experimentais e teóricos em salas de aula. Os resultados apontam que o ruído é o fator mais crítico e que os critérios de condições acústicas em salas de aula devem basear-se na inteligibilidade da fala.

Neste sentido, um aspecto importante da perturbação provocada pelo ruído é o seu efeito sobre a inteligibilidade da fala. Em particular, para salas, a informação sobre a relação entre a inteligibilidade da fala e o nível de ruído do ambiente é pertinente para a formulação de critérios de níveis de ruído adequados para ser aplicado no planejamento e design dos edifícios escolares. Nas salas de aula, há dois fatores ambientais que são importantes para a inteligibilidade (1) a reverberação na sala e (2) a interferência do ruído. Estes dois fatores não devem ser considerados isoladamente. (HOUTGAST, 1981)

Segundo Kendrick et. al. (2012), as salas de aula se configuram como um importante espaço de estudo para a medição ocupada e estimativa de parâmetros acústicos, uma vez que suas condições acústicas podem mudar substancialmente entre os estados desocupados e ocupados. O nível de pressão sonora (NPS) dentro de uma sala, proveniente de fontes de ruído externo, depende da intensidade desses ruídos, das propriedades de isolamento sonoro das divisórias que cercam a sala e da absorção sonora da sala. Os materiais de absorção servem para dois propósitos: reduzem o tempo de reverberação e reduzem o nível de ruído de fundo. Em salas de aula, o som da fala direta está misturado com o som de reverberação e com o ruído de fundo (LOSSO, 2003).

Em salas silenciosas, a inteligibilidade da fala diminui com o aumento do tempo de reverberação, que, até certo ponto é semelhante ao ruído e afeta a identificação das consoantes mais do que as vogais. Os sons da fala recebidos a uma distância da fonte sonora diferem dos sons recebidos próximos à fonte (DANIEL et. al., 2003).

Sobre estes aspectos, em fevereiro de 2003, foi publicada nos Estados Unidos pelo *American National Standard Institute* a norma ANSI S12.60 – Acoustical Performance Criteria, Design Requirements and Guidelines for Schools. Trata-se da primeira norma no mundo que especifica parâmetros sobre a acústica de escolas (FERNANDES, 2005). Tal norma tem como objetivo alcançar uma inteligibilidade ótima ($I > 90\%$) em ambientes de ensino, impondo limites para três parâmetros acústicos da sala de aula:

Ruído de Fundo – estabelece valores máximos de 35 e 40 dB para o ruído de fundo de salas de aula (inclusive com o sistema de ar condicionado ligado). Em momentos de maior ruído, a norma especifica que a média em uma hora não deve ultrapassar a 40 dB(A), não podendo exceder este valor em mais de 10% do tempo.

Tempo de reverberação – indica que o tempo de reverberação em salas de aula deve estar entre 0,4 e 0,6 segundos. Para espaços acima de 10.000 ft³, não deve exceder a 0,6 s, e para salas entre com volume entre 10.000 e 20.000 ft³, não deve exceder a 0,7 s.

Transmissão sonora – a avaliação do isolamento sonoro entre dois ambientes é dada pela Classe de Transmissão Sonora (STC) do material.

Como é possível perceber, a acústica inadequada das salas de aula cria condições ruins de aprendizagem para muitos estudantes, especialmente aqueles que possuem deficiências auditivas ou de aprendizagem. Esse problema causa frustração tanto em estudantes como em professores. Em várias salas de aula nos Estados Unidos, por exemplo, até 25% da informação pode ser perdida por causa do ruído e da reverberação (EVANS; MAXWELL, 2000). Quando o ruído é combinado com a reverberação, o entendimento da fala torna-se difícil. Pode-se concluir que, para manter alta inteligibilidade de fala, o tempo de reverberação em salas com níveis consideráveis de ruído deveria ser menor do que o tempo de reverberação em lugares silenciosos.

Reverberação e ruído em excesso interferem com a inteligibilidade da fala, resultando na redução do entendimento e, portanto, na redução do aprendizado. Em muitas salas de aula nos Estados Unidos, a inteligibilidade da fala é de 75% ou menos. Isto significa que em testes de inteligibilidade da fala, ouvintes com audição normal podem ouvir apenas 75% das palavras lidas de uma lista. Imagine ler um livro faltando toda quarta palavra, sendo esperado que se entenda o material nele contido (SEEP et. al., 2002).

Amorim (2007) relata que o espaço da sala de aula deve favorecer o desenvolvimento de atividades individuais, em pequenos grupos ou em grupo único com formas variadas. Em relação ao desempenho acústico, o projeto de salas de aula com formas diferentes requer estudos específicos para garantir a qualidade. Nesta direção, pode-se obter uma melhoria na acústica de salas de aula ao transferir parte da absorção do forro para as paredes e manter a região central do teto sem revestimento, a fim de favorecer a reflexão da voz do professor na direção do fundo da sala. Como o teto absorve e reflete parcialmente, pode ser facilmente construído com uma grade de sustentação padrão, assim, colocam-se placas acústicas ao redor do perímetro do teto e as placas de gesso no centro da modulação. Para refletir ainda mais o som para o fundo da sala, o teto pode ser chanfrado acima da posição do professor, na frente da sala de aula. Essa superfície refletora deve ser construída com material duro, como compensado ou placa de gesso, com a mesma tinta da sala. Ao colocar materiais absorventes nas paredes, reduz-se simultaneamente o tempo de reverberação e os ecos.

2.4.3 Influência do projeto no ambiente escolar

De acordo com Ramdass & Lewis (2012) há um crescente número de pesquisas que ligam o ambiente físico das escolas à saúde dos estudantes, desempenho, segurança, autoestima e bem-estar, bem como as atitudes dos professores e comportamentos (TANNER, 2009; ULINE; TSCHANNEN-MORAN, 2008; MATAR; BRGHITH, 2010).

Uma realidade evidente em diversos países é a ampla diversidade de edifícios escolares alguns dos quais seguem tipos tradicionais, enquanto outros diferem deles no que tange ao uso de padrões morfológicos e espaciais. A escolha de um determinado tipo dependerá das características específicas da escola, o nível da educação e do número de alunos. Mas também pode depender da filosofia educacional da escola, condições climáticas e sua localização na região (urbano, suburbano ou rural). (NAIR; FIELDING, 2005)

Rigolon (2010) realizou um estudo sobre padrões gerais de design para instituições de ensino baseado na análise de estudos de casos internacionais e encontrou quatro tipos de design, os quais receberam a seguinte classificação: projeto pátio, projeto blocos, projeto grupos e projeto como cidade. É importante

notar que os critérios de base para a elaboração de estes tipos foram morfologia e disposição interna. Estes últimos aspectos influenciam fortemente as características de alguns padrões espaciais que são fundamentais para o processo de planejamento dos edifícios escolares. Eles incluem, por exemplo, a hierarquia entre os diversos espaços dentro da instalação e da coexistência de salas de aula e as áreas próximas.

O projeto pátio, um dos mais frequentemente utilizados no passado, ainda está na vanguarda para as escolas que consideram espaços exteriores como muito importante. Este tipo tem dois efeitos principais: primeiro, ele contribui significativamente para a criação de um sentimento de pertença na comunidade escolar, em segundo lugar, ele fornece um foco visual para os espaços interiores: a sensação de estar dentro de uma área fechada, com diferentes graus da abertura, geralmente traz uma sensação de bem-estar.

Três subtipos (figura 8) foram identificados durante a pesquisa: pátio único, fechado e aberto, e múltiplos pátios. A escolha de deixar em aberto ou para delimitar os espaços exteriores, formando assim um microcosmo, depende acima de tudo sobre o local. Por outro lado, onde a paisagem rural ou suburbana é um elemento importante, pátios abertos em formas de L ou U são usados frequentemente.

Figura 8 - Projeto Pátio



Fonte: Rigolon (2010)

O projeto blocos (Figura 9) é caracterizado por volumes compactos e esquemas internos simples. Uma segunda característica importante deste tipo é um espaço único grande para a socialização levando diretamente para os principais espaços de aprendizagem (salas de aula, estúdios, laboratórios). Este espaço pode ser usado para diferentes atividades simultaneamente e oferece acesso prático às outras partes do edifício. A eficácia deste tipo baseia-se na condição de que o principal espaço de socialização é verdadeiramente utilizado pelos estudantes: se este espaço não oferecesse possibilidades múltiplas e flexíveis para as atividades seria simplesmente uma área de circulação.

Figura 9 - Projeto Blocos

Fonte: Rigolon (2010)

No projeto grupo (figura 10), o edifício está fragmentado em diferentes volumes, que podem representar unidades pedagógicas independentes. Este tipo de projeto tem um número de variações, dependendo do esquema de circulação, tanto ao nível do edifício como um todo e as unidades pedagógicas: ele pode ter qualquer disposição um longitudinal ou átrios centrais.

Figura 10- Projeto Grupo

Fonte: Rigolon (2010)

Caracterizado por uma multiplicidade de espaços e funções, daí a metáfora da cidade, há ainda o projeto como cidade (figura 11). O espaço mais público, a "praça da Câmara Municipal", está rodeado pelos mais importantes "edifícios" (biblioteca, auditório). A partir daí, uma série de estradas dá acesso a espaços que são mais e mais "privados". Uma grande variedade de estudos de casos que podem ser considerados como cidade levou à identificação de dois subtipos.

Figura 11 - Projeto como cidade

Fonte: Rigolon (2010)

Primeiro, há os "blocos complexos", nesses casos, a metáfora da cidade se materializa em uma combinação de espaços interiores. Em segundo lugar, há "estruturas compostas", formadas por uma variedade de volumes livremente

arranjados. A noção do espaço urbano é criada tanto pela complexidade dos espaços internos quanto pela riqueza das formas tridimensionais.

Comparando os quatro tipos encontrados na pesquisa, Rigolon (2010) considerou os edifícios com projetos tipo bloco com melhor desempenho. Já os de grupo e como cidade, se definidos com a central de átrios, também podem ser eficazes. Por outro lado, os tipos pátio tendem a perder uma grande quantidade de espaço de circulação, uma vez que eles são normalmente dispostos de acordo com o padrão do corredor estreito de salas de aula.

No que diz respeito à densidade de construção, o corpo de investigação mostrou que tipos de blocos são mais susceptíveis de ser utilizados em áreas urbanas devido à sua dimensão compacta e porque elas podem ser colocadas em locais desfavoráveis. Ao contrário do tipo de bloco, o pátio, grupos e como cidade são mais populares em ambientes suburbanos e rurais, porque eles geralmente exigem uma maior área disponível.

Em estudo sobre a qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina, Losso (2003) realizou avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e avaliação, dividindo as edificações escolares em quatro categorias segundo sua tipologia, cujos projetos estão ilustrados na figura 12.

Na primeira categoria estavam as escolas que possuem um bloco principal administrativo defronte ao logradouro, na maioria dos casos, seguido por um pátio coberto com laterais abertas, e salas de aula localizadas em um, dois ou mais blocos desconectados fisicamente das demais partes da escola, mas possuindo corredores cobertos para a ligação dos diversos setores. Em alguma lateral do pátio estavam as áreas de apoio como banheiros, cozinha, depósito e outros, e em outra lateral está a quadra de esportes.

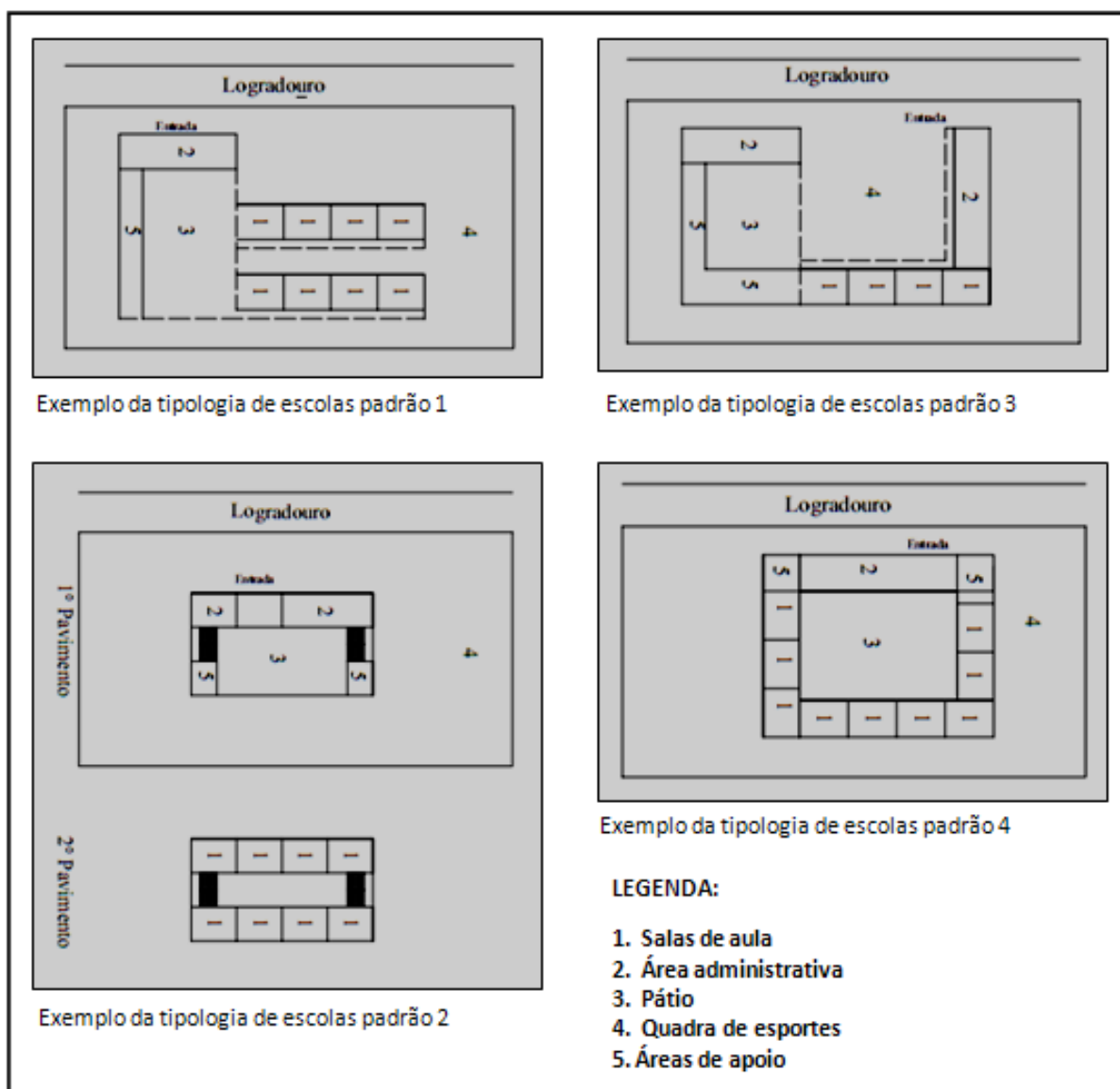
Do ponto de vista acústico, os pontos fracos nesta tipologia eram: a proximidade do pátio coberto aberto das primeiras salas de aula de cada ala e, similarmente, a proximidade da quadra de esportes do outro lado com as últimas salas de aula. Em alguns casos, a quadra de esportes encontra-se de frente para as salas, como se fosse uma terceira ala de salas. Os pátios e as quadras funcionam como fontes sonoras e deveriam ser elementos a serem segregados fisicamente. Também, em alguns casos, os banheiros encontravam-se junto com as salas de aula, sendo um aspecto negativo, especialmente quando as paredes divisórias entre

banheiro-sala de aula, ou mesmo entre salas de aula não se elevam até a cumeeira. Caso bastante comum, ocorrendo vazamento sonoro.

Diversas vezes e em diferentes escolas, o autor presenciou o vazamento sonoro entre salas de aula, principalmente na aplicação dos questionários em sala, durante sua apresentação e explicação para os alunos, momento em que o ruído de fundo diminuía, facilitando assim a percepção do vazamento sonoro.

A segunda categoria caracterizou-se por escolas com dois pavimentos, onde no térreo localizava-se a administração e pátio interno, normalmente coberto com laterais fechadas e áreas de apoio (banheiros, cozinha, depósitos, etc.). No segundo pavimento estavam as salas de aula, e por esse motivo, não sofriam com problemas de ruído de impacto e estavam de certa forma protegidas do ruído originado no pátio coberto do primeiro pavimento. Porém, existia um grande vazamento sonoro através das escadarias e corredores. Em diversas escolas com essa tipologia observou-se a existência de janelas nas paredes divisórias entre salas de aula e corredor. As janelas, nesse caso, eram elementos fracos acusticamente e responsáveis pela diminuição na capacidade de isolamento sonoro entre os ambientes.

Figura 12 - Tipologias arquiteturais escolares



Fonte: Losso (2003)

As tipologias 3 e 4 sofriam com problemas de ruído ocasionado nos pátios e quadras centrais. Essas tipologias estavam entre as piores possíveis do ponto de vista acústico, pois não protegiam as salas de aula e as submetiam ao ruído gerado nas áreas altamente ruidosas localizadas no entorno próximo. A existência de aula de educação física no mesmo momento que as aulas em sala configuravam uma situação crítica. O mesmo acontecia nas escolas que possuíam diferentes horários para recreio entre as séries menores e maiores.

Tang (2008) realizou estudo sobre as relações de parâmetros acústicos em salas de aula com layouts padronizados em Hong Kong. Os resultados demonstraram que os parâmetros acústicos são altamente correlacionados entre si

mesmo através de bandas de oitava diferentes. Constatou-se também que as relações entre os parâmetros de diferentes tipos não dependem das bandas de frequência. Acredita-se que as fortes correlações entre os diversos parâmetros acústicos da fala relacionados e as informações de regressão obtidas no estudo podem ajudar a estimar a qualidade de voz das na fase de concepção das salas de aula.

Pelegrin-Garcia e Brunskog (2012) desenvolveram um modelo, baseado nas propriedades geométricas de uma sala de aula (volume, área superficial total e tempo de reverberação), que aponta quais as restrições geométricas para que seja obtida uma boa condição acústica tanto para o emissor quanto para o receptor.

Por outro lado, Blaszak (2008), afirma que além das dimensões geométricas das salas deve-se considerar o modo de distribuição das salas, muitas delas equipadas com computadores, projetores, condicionadores de ar, ou outros dispositivos que produzem ruídos, além do mobiliário que interferem na absorção média acústica da sala. Assim, salas de aula de mesma geometria poderão ter coeficientes de absorção diferentes.

De acordo com Guldbaek et. al. (2011), a diversidade de projetos de construção de escolas faz com que abordagens para esses tipos projetos tendam a evoluir para uma nova visão de ambientes de aprendizagem que está em sintonia com o mais recente pensamento pedagógico. Métodos de aprendizagem baseados em projeto baseado atividades que envolvam os alunos ativamente, ao invés da simples transmissão de conhecimentos, estão ganhando popularidade. Isto levou a duas consequências importantes que têm impacto sobre a concepção de edifícios. Primeiro, a sala de aula tradicional já não é o único espaço de aprendizagem, uma vez que pode hospedar apenas um número limitado de atividades de ensino. Em segundo lugar, provocou uma reformulação geral da construção de disposição e conduziu a uma maior flexibilidade, tornando mais eficaz a utilização de espaços. Estes parecem ser os principais desafios de design de hoje e as escolas de amanhã, considerando ainda a necessidade de considerar os aspectos térmico, lumínico e acústico.

Segundo Kowaltowski (2010), o projeto padrão para instituições como escolas, hospitais e creches é uma prática comum em projetos públicos de interesse social, que usam programas de necessidades padronizados das atividades estipuladas pelos órgãos administrativos de equipamentos urbanos. Outro fator para

utilização de projetos padrão nas edificações públicas é o desejo de que sejam identificadas a uma determinada administração, ou a um determinado momento político. O reconhecimento da tipologia construtiva é considerado importante, como uma assinatura ou um símbolo da gestão.

Oliveira (2012) afirma que em João Pessoa, as escolas municipais diferem consideravelmente no partido arquitetônico, no dimensionamento das salas de aula, nas cores, nas soluções construtivas e no tamanho e localização das aberturas diferiam consideravelmente, até mesmo na própria escola, devido histórico de reformas e adaptações realizadas.

2.5 Estudos Descritivo-Correlacional e Correlacional

O propósito de muitos dos estudos na área de acústica é o desenvolvimento de métodos para avaliar, modelar, prever e simular parâmetros acústicos em ambientes (CAVANAUGH; WILKES, 1999).

Segundo Fortin (2009), no estudo descritivo-correlacional, o pesquisador tenta explorar e determinar a existência de relações entre variáveis, com o objetivo de descrever essas relações. É natural que existam variáveis cujas relações mútuas não sejam previamente estabelecidas. O principal objetivo deste estudo é descobrir fatores relacionados a um fenômeno, onde a definição e a descrição preliminares das variáveis, estabelecidas em um nível de investigação precedente, conduzem à exploração da existência de relações entre variáveis, podendo dar lugar à formulação de hipóteses, que poderão ser objeto de verificações em estudos subsequentes. O tamanho da amostra e a representatividade com relação à população estudada são fundamentais. Utilizam-se análises de correlação para explorar a existência de relações entre variáveis.

O estudo descritivo permite, no decorrer de um mesmo processo, considerar simultaneamente várias variáveis visando explorar suas relações mútuas além de descrever as relações que foram detectadas entre as variáveis. O estudo puramente correlacional permite ir mais longe verificando a natureza das relações que existem entre determinadas variáveis. Estas relações presumidas entre as variáveis apoiam-se em trabalhos de investigação anteriores ou em bases teóricas (BRINK; WOOD, 1989; DIERS, 1979). O elemento adicional que o estudo correlacional comporta relativamente ao estudo baseado na exploração das relações advém do fato de nos

perguntarmos em que medida a aparição de um fenômeno se acompanha da aparição de um outro fenômeno (ROBERT, 1988). A análise consiste em determinar, com a ajuda de diversas estimações estatísticas da correlação, a natureza desta relação, ou seja, a sua força e sua direção.

As correlações são expressões estatísticas que denotam uma forma particular de relação ou de associação entre fatores ou variáveis. Significam que os fatores variam simultaneamente, mas sem permitirem afirmar que um fator ou uma variável causa a outra (DIERS, 1979). As variáveis são examinadas como se apresentam: não há manipulação como no estudo experimental. As correlações podem ser positivas, se as variáveis ou fatores variam simultaneamente na mesma direção, ou negativas, se as variáveis ou fatores variam simultaneamente em direções opostas.

O elemento determinante que caracteriza o estudo correlacional, propriamente dito, reside na especificidade das variáveis escolhidas relativamente ao fenômeno estudado. Este tipo de estudo comporta hipóteses quanto à natureza das relações previstas entre as variáveis e necessita que as amostras sejam grandes e representativas da população estudada, no caso dos estudos cujo propósito seja a generalização dos resultados. Empregam-se meios de coleta de dados quantitativos e análises multivariadas, compreendendo diversas estimações estatísticas de correlação. A análise de fatores, a análise de correlação canônica, a análise de regressão múltipla estão entre as técnicas estatísticas que permitem verificar as hipóteses formuladas sobre a força e a direção das relações entre as variáveis ditas independentes ou dependentes (FORTIN, 2009).

A análise de correlação fornece um número, indicando como duas variáveis variam conjuntamente. Mede a intensidade e a direção da relação linear ou não linear entre duas variáveis. É um indicador que atende a necessidade de se estabelecer a existência ou não de uma relação entre essas variáveis sem que, para isso, seja preciso o ajuste de uma função matemática. Não existe a distinção entre a variável explicativa e a variável resposta, ou seja, o grau de variação conjunta entre X e Y é igual ao grau de variação entre Y e X.

Quando a análise envolve grande número de variáveis e há interesse em conhecer a correlação duas a duas, é comum a construção de uma matriz de correlações. Esta é uma matriz formada pelas correlações entre as variáveis X_i e X_j , $i \neq j$, fora da diagonal e 1 na diagonal, indicando a correlação das variáveis X_i e X_j , sendo $i = j$.

2.5.1 Modelagem

O mundo que nos cerca é interpretado através de modelos, já que, seja na vida cotidiana ou em trabalhos científicos, a construção de modelos ajuda a interpretar a complexa realidade. Isso porque, sendo um dado fenômeno de interesse regido por interações de infinitas variáveis, este se faz incompreendido, caso se deseje conhecer toda a realidade sobre ele. O que se faz é tentar compreender tal fato por meio de modelos. Modelo pode ser definido como uma representação simplificada e abstrata de fenômeno ou situação concreta, e que serve de referência para a observação, estudo ou análise.

Embora não represente toda a realidade por trás de um dado acontecimento de interesse, os modelos são úteis, pois permitem além da interpretação de tal acontecimento, simulações de mudanças que sofre tal fato, variando-se os parâmetros descritores do modelo que o representa.

Além disso, por se tratar de um “recorte da realidade”, um modelo matemático descritor de um fenômeno pode ser, desde o mais parcimonioso, considerando um pequeno número de interações com outras variáveis e admitindo que a relação entre as variáveis envolvidas seja a mais simples possível (relação linear), como mais complexos, sem excluir a parcimônia, aumentando o número de variáveis e admitindo não linearidades na relação entre elas.

Para Royston e Sauerbrei (2008), um bom modelo é satisfatório e interpretável do ponto de vista da matéria em estudo, robusto com respeito a mínimas variações dos dados presentes, preditivo em novos dados e, parcimonioso. É preciso ainda, ter em mente os dois principais objetivos da proposição de um modelo, e distingui-los. O primeiro objetivo é o da predição, onde o ajuste do modelo e o erro médio quadrático predito são os principais critérios de adequação deste. O segundo objetivo é o da explanação, em que o interesse recai em tentar identificar preditores influentes e ganhar discernimento na relação entre os preditores e a saída do modelo.

Portanto, um bom modelo precisa ser o mais simples possível, sem se tornar, no entanto, inadequado. Ou seja, deve-se manter o modelo tão simples quanto a complexidade dos dados coletados permitam. Isso porque generalidade e utilidade prática devem ser mantidas em mente quando da proposição de um modelo. Modelos constituídos de exagerado número de preditores, ou com relação entre as

variáveis complexa demais, ficam prejudicados quanto à usabilidade. Dependendo do papel a ser desempenhado pelo modelo proposto (Predição, explicação, entendimento dos efeitos dos preditores) o julgamento da adequação do modelo muda (ROYSTON & SAUERBREI, 2008).

2.5.2 Modelo de Regressão Beta

A análise de regressão é uma técnica estatística utilizada para investigar e modelar, com base em um banco de dados, a relação entre uma variável de interesse e um conjunto de variáveis explicativas. O modelo de regressão normal linear é bastante utilizado em análises empíricas. No entanto, tal modelo se torna inadequado em situações em que a variável resposta é restrita ao intervalo (0,1), como ocorre com taxas (inteligibilidade) e proporções. Nestes casos, o modelo de regressão normal linear pode prever valores da variável resposta fora do intervalo unitário padrão.

Uma possível solução é transformar a variável dependente, porém, os parâmetros se tornam de difícil interpretação em termos da variável resposta original. Adicionalmente, em geral, medidas de razão e/ou proporção apresentam comportamento distribucional assimétrico, não satisfazendo assim simetria implicada pela suposição de normalidade.

Muitos estudos, em diferentes áreas do conhecimento, examinam como um conjunto de variáveis se relaciona com algum tipo de porcentagem ou proporção (BREHM; GATES, 1993, KIESCHNICK; MCCULLOUGH, 2003, SMITHSON; VERKUILEN, 2006, ZUCCO, 2008). Para estas situações, Ferrari e Cribari-Neto (2004) propuseram a classe de modelos de regressão beta, em que a variável resposta (y) segue a lei beta.

A distribuição beta é bastante flexível para modelar proporções, uma vez que dependendo dos valores dos dois parâmetros que a indexam, a densidade assume formas bem variadas. A densidade beta é dada por

$$\pi_1(y; p, q) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} y^{p-1} (1-y)^{q-1}, 0 < y < 1 \quad (13)$$

Em que $p > 0$ e $q > 0$ são parâmetros que indexam a distribuição $\Gamma(.)$ na função gama:

$$\Gamma(p) = \int_0^\infty y^{p-1} e^{-y} dy \quad (14)$$

A média e a variância da variável y são dadas, respectivamente, por

$$E(y) = \frac{p}{p+q}, \quad (15)$$

$$var(y) = \frac{pq}{(p+q)^2(p+q+1)} \quad (16)$$

No modelo proposto por Ferrari e Cribari-Neto (2004) é utilizada uma reparametrização da densidade beta, sendo $\mu = p/(p+q)$ e $\phi = p+q$, isto é, $p = \mu\phi$ e $q = (1-\mu)\phi$. Com isso a partir das equações (15) e (16) tem-se que:

$$E(y) = \mu, \quad (17)$$

$$var(y) = \frac{V(\mu)}{1+\phi} \quad (18)$$

em que $V(\mu) = \mu(1-\mu)$ denota a função de variância e ϕ pode ser interpretado como um parâmetro de precisão, uma vez que, para μ fixo, se o valor de ϕ aumenta, então a variância da variável resposta diminui. Deste modo, a densidade de y pode ser escrita como

$$\pi_1(y; \mu, \phi) = \frac{\Gamma(\phi)}{\Gamma(\mu\phi)\Gamma((1-\mu)\phi)} y^{\mu\phi-1} (1-y)^{(1-\mu)\phi-1}, 0 < y < 1 \quad (19)$$

Em que $0 < \mu < 1$ e $\phi > 0$.

Tais modelos de regressão beta apresentam grande aplicabilidade em situações de modelagem cujo objetivo é estudar a relação entre uma variável y , que assume continuamente valores no intervalo unitário padrão (0,1), e outras variáveis que afetam seu comportamento através de uma estrutura de regressão. A resposta média é relacionada a um preditor linear, que incorpora covariáveis e parâmetros desconhecidos, através de uma função de ligação. Deste modo, a modelagem e os procedimentos inferenciais dos modelos de regressão beta são similares aos modelos lineares generalizados (McCullagh e Nelder, 1989).

O Modelo de regressão beta é caracterizado por três componentes: *componente aleatória*, que identifica a distribuição de probabilidade da variável dependente; *componente sistemática*, que especifica a estrutura linear das variáveis independentes, denominada preditor linear; e a função que relaciona a média da variável dependente à estrutura linear das variáveis independentes, sendo uma função estritamente monótona e duplamente diferenciável que transforma valores do intervalo (0,1) em valores reais, denominada *função de ligação*.

Componente Sistemática

Sejam $y_1, \dots, y_n$ variáveis aleatórias identicamente distribuídas, em que cada y_i , $i = 1, \dots, n$, com média $\mu_i = (\mu_1, \dots, \mu_n)$ e parâmetro de precisão desconhecido ϕ . O modelo de regressão Beta é definido pela distribuição de probabilidade Beta e por uma estrutura linear,

$$\eta_i = \sum_{j=1}^k x_j \beta_j \quad (20)$$

onde a função linear η_i dos parâmetros desconhecidos $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_k)$ é denominada de preditor linear; x_j representa os valores de k ($k < n$) variáveis independentes que são assumidas fixas e conhecidas.

Função de Ligação

Segundo Dobson (1990) e McCullagh e Nelder (1989), a estrutura da função de ligação na equação do modelo, pode ser representada como,

$$g(\mu_i) = \alpha + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k, \quad (21)$$

Podendo ser reescrito como

$$g(\mu_i) = \eta_i, \quad (22)$$

em que a função $g(\mu_i)$ é uma função monótona e duplamente diferenciável e que possibilite modelar diretamente a média da variável dependente, conforme pode ser ilustrado

$$\mu_i = g^{-1}(\eta_i); i = 1, \dots, n \quad (23)$$

Semelhante a estrutura do Modelo Linear Generalizado, as funções de ligações utilizadas no modelo de regressão beta podem ser: Logit ($g(\mu) = \log(\mu/1 - \mu)$); Probit ($g(\mu) = \phi^{-1}(\mu)$); Complemento Log-log ($g(\mu) = \log\{-\log(1 - \mu)\}$); e a função Log-log ($g(\mu) = -\log\{-\log(\mu)\}$). Essas quatro funções de ligações são contínuas e estritamente crescentes no intervalo unitário (0,1).

Na prática é comum realizar a escolha da função de ligação que melhor ajuste a relação da estrutura linear (preditor linear) e a média da distribuição da variável dependente. Ferrari e Cribari-Neto (2004) afirmaram que, no processo de modelagem de algum conjunto de dados medidos em proporção, tais funções de ligação podem apresentar similaridade no ajuste destes dados.

Dentre as funções de ligação acima citadas, a função Logit, - utilizada nesta dissertação -, pode ser expressa de acordo com a equação (24).

$$g(\mu_i) = \log\left(\frac{\mu_i}{1-\mu_i}\right) = x_j\beta_j, \quad (24)$$

onde $x_j, i = 1, \dots, n$, e $j = 1, \dots, k$. Ela pode ser reescrita como μ_i em função de x_j :

$$\frac{\mu_i}{1-\mu_i} = e^{x_j\beta_j}$$

$$\frac{1-\mu_i}{\mu_i} = \frac{1}{e^{x_j\beta_j}}$$

$$\frac{1}{\mu_i} - \frac{\mu_i}{\mu_i} = \frac{1}{e^{x_j\beta_j}}$$

$$\frac{1}{\mu_i} - 1 = \frac{1}{e^{x_j\beta_j}}$$

$$\frac{1}{\mu_i} = \frac{1}{e^{x_j\beta_j}} + 1$$

$$\frac{1}{\mu_i} = \frac{1 + e^{x_j\beta_j}}{e^{x_j\beta_j}}$$

Donde,

$$\mu_i = \frac{e^{x_j\beta_j}}{1 + e^{x_j\beta_j}} \quad (25)$$

Logo, e^{β_j} é uma medida que expressa o risco a qual avalia a relação entre a chance de um indivíduo exposto possuir a condição de interesse, comparada à do não exposto.

Medidas de Diagnóstico

Em análises estatísticas, em particular em análise de regressão, surge sempre uma pergunta importante: qual o melhor modelo? Para responder a esta pergunta é necessário verificar se o modelo ajustado é adequado para descrever os dados em estudo. Rao e Wu (2005) sugerem que se escolha o modelo que mais se aproxima do modelo verdadeiro a partir de um conjunto de modelos candidatos.

Uma etapa essencial na análise de uma ajusta é a verificação de possível violação de qualquer uma das suposições feitas para o modelo, especialmente para a parte aleatória (y_i) e pelo componente sistemático (η_i), bem como a existência de observações externas com alguma interferência desproporcional nos resultados do ajuste. Tal etapa, conhecida como análise de diagnóstico, se inicia com a análise dos resíduos para detectar a presença de pontos extremos (*outliers*) e avaliar a adequação da distribuição proposta para a variável dependente.

A adequação de um modelo é avaliada pela sua capacidade preditiva e definida a partir dos próprios dados utilizados na determinação do modelo. Modelos com bom desempenho estatístico apresentam pequena discrepância entre os dados reais e seus respectivos valores preditos. Ademais, segundo Cordeiro e Lima Neto (2004), na adequação do modelo aos dados é fundamental a análise de ferramentas gráficas como, avaliação dos gráficos dos resíduos, a observação de pontos influentes (valores que influenciam na estimativa da média da variável dependente), alavanca generalizada e a distância de Cook.

Em uma modelagem, variáveis independentes e/ou interações destas variáveis só devem ser acrescentadas ao modelo se apresentarem sobre o comportamento da variável dependente, um nível explanatório significativo (*p-value*).

Em muitas aplicações, o coeficiente de determinação (R^2) é uma medida global da qualidade do ajuste, utilizado como indicador numérico que permite comparar o desempenho de diferentes modelos, contudo, não é uma boa estratégia, pois o mesmo sempre aumenta com a inclusão de novas variáveis independentes. Para contornar este problema foi criado um coeficiente de determinação ajustado, denominado “pseudo” R^2 (R_p^2) que é definido como o quadrado do coeficiente de correlação amostral entre $g(y)$ e $\hat{\eta}$. Dado que $0 \leq R_p^2 \leq 1$, quando $R_p^2 = 1$ existe uma concordância perfeita entre $\hat{\mu}$ e y , conseqüentemente melhor será o ajuste.

CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento desta dissertação. Uma pesquisa requer a descrição de seus métodos e procedimentos, que significa definir a estratégia de investigação, identificando o melhor caminho, partindo do estado atual e alcançando-se os objetivos. Segundo Lakatos e Marconi (2005), método é o conjunto de atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando decisões.

3.1 Natureza e classificação da pesquisa

Vergara (2004) relata que as pesquisas podem ser classificadas quanto aos fins e meios. Quanto aos fins, a pesquisa pode ser: exploratória, descritiva, explicativa, metodológica, aplicada e intervencionista. Com relação aos meios de investigação, a pesquisa pode ser: pesquisa de campo, pesquisa de laboratório, documental, bibliográfica, experimental, *ex post facto*, participante, pesquisa-ação e estudo de caso.

Quanto aos fins, esta pesquisa caracteriza-se, em exploratória e descritiva. Exploratória porque visa criar maior familiaridade em relação aos parâmetros relacionados à acústica das salas de aula. Descritiva porque busca retratar acústica levando em consideração as características arquitetônicas das salas de aulas.

Quanto aos meios, pode ser classificada como pesquisa bibliográfica e de campo. Bibliográfica porque grande parte do estudo será organizado e desenvolvido com base em publicações realizadas em livros, periódicos, anais de eventos e *sites* relativos à acústica e inteligibilidade da fala. De campo porque, para alcançar os objetivos, será necessário quantificar o ruído existente nas salas de aula e o nível de inteligibilidade da fala dos professores, a partir de medições realizadas *in situ*.

3.2 População e Amostra

De acordo com Vergara (2004), o universo ou população como o conjunto de seres animados ou inanimados que apresentam pelo menos uma característica em

comum. Segundo esse mesmo autor a delimitação da população consiste em explicar que elementos serão pesquisados.

O estudo foi realizado nas escolas municipais da cidade de João Pessoa, conforme relação em anexo. Essas escolas são agrupadas em nove polos que respeitam certa coerência socioeconômica e geográfica, totalizando 93 (noventa e três) escolas.

A divisão dos polos por bairro e quantidade de escolas municipais presentes em cada um pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 - Divisão das escolas municipais de João Pessoa por polo e por bairro

Polo	Bairros	Quantidade de Escolas
1	Mangabeira, Bancários, Cidade Universitária, Cristo e Penha	13
2	Cristo e Rangel	15
3	Bairro dos Novais e Auto do Mateus	10
4	José Américo, Valentina, Geisel e Gramame	09
5	Jaguaribe, Torres, Centro, Roger, Varadouro, Ilha do Bispo e Miramar	10
6	Padre Zé, Mandacaru, Bairro dos Estados, 13 de Maior, Bairro dos Ipês e Bessa	11
7	Bairro das Indústrias, Costa e Silva e Ernani Sátyro	09
8	Funcionários, Esplanada e Grotão	08
9	Cruz das Armas	08
Total de escolas		93

Fonte: Secretaria Municipal de Educação de João Pessoa

Na delimitação da amostra, alguns critérios foram considerados para garantir sua significância e representatividade com relação à população estudada. Optou-se por analisar apenas as escolas que oferecem turmas de 1º ao 5º ano do ensino fundamental, haja vista serem os anos iniciais e responsáveis pelo maior número de matrículas na rede municipal.

Constatou-se, a partir de um teste-piloto, que crianças com idades mais elevadas adaptavam-se mais facilmente à presença do pesquisador durante a coleta de dados, uma vez que as medições do nível de pressão sonora equivalente foram

realizadas durante períodos de aula. Logo, definiu-se que o estudo seria realizado nas turmas de 5º ano do ensino fundamental.

Do total de 93 (noventa e três) escolas, 65 (sessenta e cinco) participaram da pesquisa. As justificativas para a não avaliação das 28 (vinte e oito) escolas são as seguintes: 1) não possuíam turmas de 5º ano; 2) estavam em reforma; e 3) devido à realização de atividades extracurriculares (ensaios de bandas marciais, grupos de dança, etc.) no intervalo entre os turnos manhã e tarde, inviabilizando a determinação dos níveis de ruídos externos, ou ainda, apresentaram discrepâncias nos dados do nível de pressão sonora.

Assim, a amostra foi composta por 119 (cento e dezenove) salas de aula que representam 71,26% do total de 167 (cento sessenta e sete) turmas de 5º ano existentes na rede municipal de ensino. A tabela 4 apresenta como a amostra foi composta a partir da distribuição das escolas e salas de aula de acordo com seus respectivos polos.

Tabela 4 - Composição da amostra

	Total de Escolas	Escolas que compõem a amostra	% Escolas que compõem a amostra	Total de salas de aula	Salas de aula que compõem a amostra	% Salas de aula que compõem a amostra
PÓLO 1	13	9	69,23	26	17	65,38
PÓLO 2	15	11	73,33	27	17	62,96
PÓLO 3	10	5	50,00	12	7	58,33
PÓLO 4	9	7	77,78	22	16	72,73
PÓLO 5	10	4	40,00	14	8	57,14
PÓLO 6	11	8	72,73	22	15	68,18
PÓLO 7	9	7	77,78	17	13	76,47
PÓLO 8	8	7	87,50	17	16	94,12
PÓLO 9	8	7	87,50	10	10	100,00
TOTAL	93	65	69,89	167	119	71,26

Fonte: Elaboração Própria (2012)

3.3 Variáveis e Indicadores

De acordo com Martins (2010), em toda pesquisa é fundamental que as variáveis sejam bem definidas de forma a serem mensuradas com precisão, o que depende da boa definição dos construtos ou conceitos definidos.

Fernandes (2001) afirma que a mensuração das variáveis se dá através dos indicadores, por sua vez entendidos pela maioria dos estudiosos do assunto como fatores que possibilitam a mensuração ou indicação da variável no fenômeno.

Nesse sentido o quadro 3 apresenta as variáveis analisadas no presente estudo bem como seus respectivos indicadores.

Quadro 3 - Variáveis e indicadores da pesquisa

VARIÁVEIS		INDICADORES
Parâmetros Acústicos	Nível de Pressão Sonora (NPS)	Nível de pressão sonora equivalente medido no interior das salas durante as aulas de acordo com a NBR 10152/1987 - Níveis de ruído para conforto acústico, que recomenda a faixa de 40 a 50 dB para salas de aula.
	Nível de ruído advindo de fontes externas (REXT)	Nível de pressão sonora equivalente medido no interior das salas vazias cujas escolas se encontravam sem atividades, de acordo com a NBR 10152/1987 - Níveis de ruído para conforto acústico.
	Tempo de Reverberação (TR)	Cálculo em função do volume da sala e coeficiente de absorção dos materiais e das pessoas. ANSI S12.60/2002 - Acoustical Performance Criteria - Design Requirements and Guidelines for Schools NBR 12179/1992 – Tratamento Acústico em Recintos Fechados
Elementos Arquiteturais	Projeto	Planta baixa das escolas e salas de aula.
	Elementos Construtivos	Tipo e dimensão dos materiais utilizados nos revestimentos das paredes, esquadrias e elementos vazados.
Inteligibilidade da Fala	Speech Transmission Index (STI)	Avaliação segundo a IEC 60268-16/2003 0,75 – 1 Excelente 0,6 – 0,75 Bom 0,45 – 0,6 Adequado 0,3 – 0,45 Fraco 0 – 0,3 Péssimo

Fonte: Elaboração Própria (2012)

3.4 Materiais e métodos

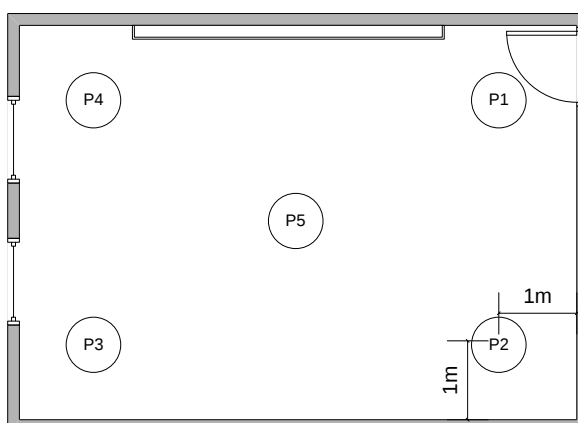
Com base na pesquisa bibliográfica, buscando-se atingir os objetivos geral e específicos, realizou-se a coleta dos dados seguindo as seguintes etapas:

Etapa 1: Avaliação dos parâmetros acústicos das salas de aula

- **Nível de Pressão Sonora (NPS)** - Para medir os níveis sonoros equivalentes – Leq utilizou-se um medidor de nível de pressão sonora marca: *Instrutherm*; modelo: *Sound Level Meter (SL – 4011)*; fabricante: *Instrutherm instrumentos de medição LTDA*, devidamente calibrado. O equipamento é adequado para atender aos parâmetros de normalidade pela legislação brasileira em vigor para cálculo do NPS composto por: Circuito de ponderação – “A”; Circuito de resposta – “lenta – *SLOW*”; Circuito de referência – 85 dB; faixa de medição entre 50 a 115 dB(A), utilizada nesta pesquisa. Este tipo de medidor é constituído por um sistema onde o microfone é uma peça vital, aliado a um amplificador e um indicador de nível de pressão sonora.

Foram coletados os níveis de ruído em cada um dos cinco pontos específicos selecionados na sala de aula, conforme Figura 13, cinco vezes consecutivas em cada ponto, com intervalos de 30 segundos entre as medições, em salas em pleno funcionamento (durante as aulas) em períodos onde o professor não estava falando. Em seguida, calculou-se o nível de pressão sonora utilizando a equação (4).

Figura 13- Pontos de medições de ruído



Fonte: Elaboração própria (2012)

Para facilitar a coleta e tabulação dos dados, foi desenvolvido um questionário (Apêndice I) para LEVANTAMENTO DA ACÚSTICA E CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS, onde os dados correspondentes aos níveis de ruído serão anotados na parte I os resultados correspondentes às MEDIÇÕES DE ACÚSTICA.

- **Níveis de Ruído advindos de fontes externas (REXT)** – Utilizou-se o mesmo procedimento anterior, porém considerou-se o ruído advindo das áreas externas à sala de aula e à escola.
- **Tempo de Reverberação (TR)** – Calculou-se o TR em função do volume da sala, da área dos materiais que compõem as superfícies internas (paredes, teto e piso), da ocupação da sala (pessoas, móveis e objetos) com seus respectivos coeficientes de absorção (α). Utilizou-se a equação (1) desenvolvida por SABINE tendo em vista que esta equação leva em consideração o coeficiente de absorção médio inferior a 0,30.
- **Inteligibilidade da fala** – A inteligibilidade da fala foi mensurada a partir do "Speech Transmission Index" (STI) através da equação (9), um método de boa aplicabilidade, pois leva em consideração o efeito do ruído de fundo e da reverberação na inteligibilidade da palavra.

Etapas 2: Descrição os padrões arquiteturais das salas de aula e das escolas

Foram coletadas informações dos elementos arquiteturais, a fim de agrupar as escolas e as salas de aula segundo suas tipologias arquitetônicas (Projetos). Conforme descrito na parte II - CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS, do questionário (Apêndice I) para LEVANTAMENTO DA ACÚSTICA E CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS, seguindo os seguintes procedimentos:

- I. Fotografar a escola da seguinte forma: Três fotos internas; uma foto do corredor; duas fotos externas (sala / prédio).
- II. Mensurar as seguintes dimensões da sala de aula: Largura; Comprimento; Pé-Direito; Dimensões das aberturas e quantidade.
- III. Verificar a orientação do prédio / sala (Norte, Sul, Leste, Oeste)
- IV. Elaborar um esquema da Planta baixa da sala e ambientes vizinhos.

3.5 Tratamento dos dados

Realizaram-se análises para examinar as relações entre parâmetros acústicos e inteligibilidade de fala a partir de um estudo descritivo-correlacional, bem como foram verificadas hipóteses de associação estabelecendo-se relações mais definitivas a partir da observação da natureza das relações entre elas realizando um estudo correlacional.

Portanto, no tratamento dos dados pretendeu-se explorar, descrever, prever e analisar as relações entre as variáveis através de estudos descritivo-correlacional e correlacional puro, seguindo as seguintes etapas:

- **Análise descritiva de parâmetros acústicos;**

Buscou-se com a análise descritiva dos parâmetros Nível de pressão sonora (NPS), Ruído Externo (REXT) e Tempo de Reverberação (TR), conhecer suas características bem como comparar os resultados encontrados com os padrões estabelecidos pela legislação vigente.

Para descrever as principais características dos dados encontrados aplicou-se estatística descritiva com a utilização do software R. Esta análise permitiu conhecer melhor as variáveis investigadas, observando como os dados estão organizados e sumarizados a partir de gráficos e medidas de tendência central e de dispersão.

- **Análise dos projetos;**

Os projetos foram classificados de acordo com o tipo de projeto da escola. Em seguida, levando-se em consideração os tipos encontrados, avaliaram-se a existência de diferenças significativas do parâmetro NPS em função da classificação destes projetos. Os testes utilizados foram o teste t de Student e o gráfico Normal Q-Q Plot.

- **Análise da relação entre parâmetros acústicos e inteligibilidade da fala**

A análise da relação entre os parâmetros acústicos NPS, TR e REXT e a inteligibilidade da fala foi realizada em duas fases, a saber: Fase 1 – Análise de Correlação e Fase 2 – Modelagem de regressão beta.

3.6 Considerações Éticas

O presente projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Lauro Wanderley da Universidade Federal da Paraíba, em sua reunião de

03 de outubro de 2009, pois se trata de investigação utilizando seres humanos e está devidamente regulamentado segundo resolução do Conselho Nacional de Saúde 196/96.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo são apresentados e discutidos os resultados encontrados na pesquisa a partir dos procedimentos metodológicos traçados. Inicialmente apresenta-se uma análise descritiva dos parâmetros acústicos mensurados levando-se em consideração as diretrizes estabelecidas em normas nacionais e internacionais, bem como a descrição e análise dos projetos arquiteturais das escolas e salas de aula analisadas. Levando-se em consideração o tipo de projeto (novo ou antigo), analisou-se a relação entre os NPS e finalizando apresentou-se a Modelagem Matemática.

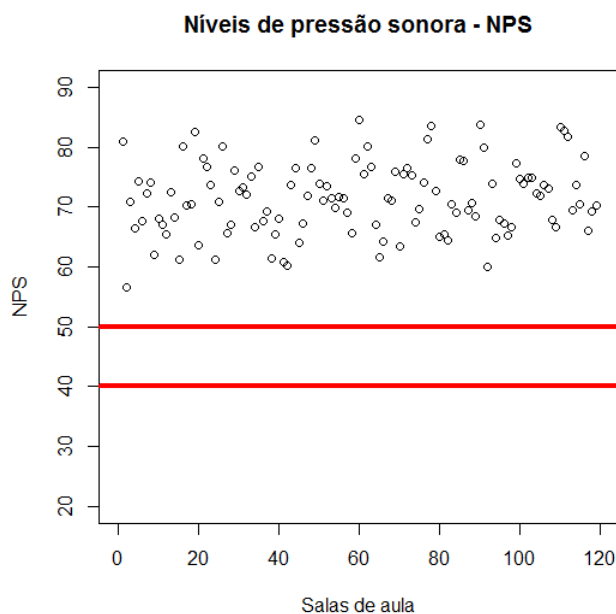
4.1 Análise descritiva de parâmetros acústicos

Esta análise permitiu conhecer melhor cada parâmetro acústico investigado a partir da observação de como os dados estão organizados e sumarizados utilizando gráficos e medidas de tendência central e de dispersão.

4.1.1 Nível de Pressão Sonora (NPS)

Os níveis de pressão sonora medidos variaram entre 56,54 dB e 84,57dB, com média 71,48 dB e desvio-padrão 5,98 dB, o que indica pouca dispersão, ou seja, os dados estão próximos da média. Observou-se que 25% do Nível de Pressão Sonora nas salas de aulas estão abaixo de 67,18 dB, enquanto que 75% do NPS estão abaixo de 75,40 dB. Assim, a amplitude interquartil ($Q3-Q1$) será de 8,22, o que significa que 50% do NPS estão no em torno da mediana, 71,40 dB, os quais estão contidos num intervalo com amplitude 8,22.

Com relação aos parâmetros estabelecidos na NBR 10152/1987, os valores encontrados estão acima dos previsto na norma, que estabelece valores na faixa de 40 a 50 dB para salas de aula. Tal constatação pode ser observada no gráfico (1).

Gráfico 1 - Níveis de pressão sonora medidos nas salas de aula

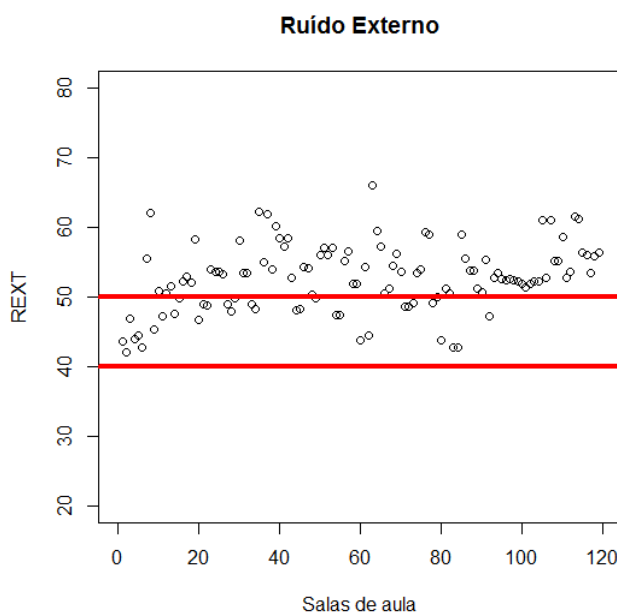
Fonte: Pesquisa Direta (2012)

4.1.2 Níveis de ruído advindos de fontes externas (REXT)

Os níveis de ruído advindos de fontes externas variaram entre 42,02 dB e 66,01 dB, com média 52,68 dB e desvio-padrão 4,84 dB, o que indica pouca dispersão, ou seja, os dados estão próximos da média. Observou-se que 25% do REXT nas salas de aulas estão abaixo de 49,46 dB, enquanto que 75% do NPS estão abaixo de 55,72 dB. Assim, a amplitude interquartil (Q3-Q1) será de 6,26, o que significa que 50% do REXT estão no em torno da mediana, 52,73 dB, os quais estão contidos num intervalo com amplitude 6,26.

Com relação aos parâmetros estabelecidos na NBR 10152/1987, cerca de 75% dos valores encontrados estão acima dos estabelecidos pela norma que deve ser entre 40 e 50 dB para salas de aula, constatação que pode ser observada no gráfico (2).

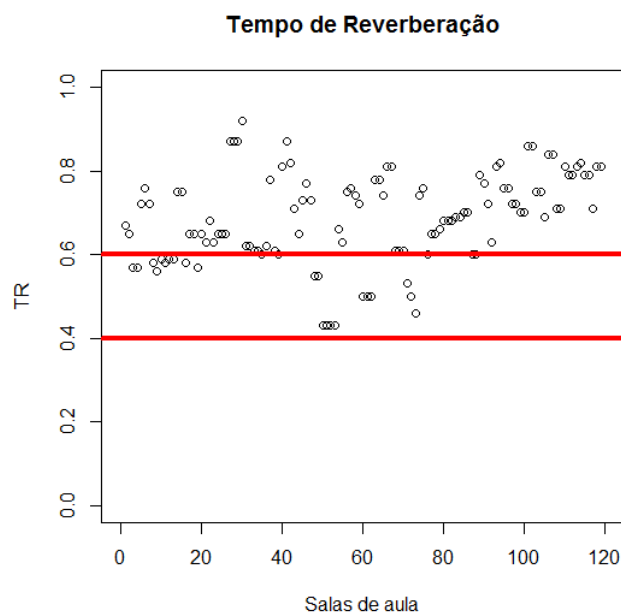
Gráfico 2 - Níveis de ruído advindos de fontes externas medidos nas salas de aula



4.1.3 Tempo de Reverberação (TR)

Os tempos de reverberação variaram entre 0,43 e 0,92 segundos, com média 0,6863 segundos e desvio-padrão 0,1082516 segundos, indicando pouca dispersão, ou seja, os dados estão próximos da média. Observou-se que 25% dos tempos de reverberação estão abaixo de 0,61 segundos, enquanto que 75% estão abaixo de 0,76 segundos. Assim, a amplitude interquartil (Q3-Q1) será de 0,15 segundos, o que significa que 50% do NPS estão no em torno da mediana, 0,69 segundos, os quais estão contidos num intervalo com amplitude 0,15.

Com relação aos parâmetros estabelecidos na ANSI S12.60/2002, apenas 18,33% dos valores encontrados estão dentro da faixa aceitável prevista que deve ser entre 0,4 e 0,6 segundos, constatação que pode ser observada no gráfico (3).

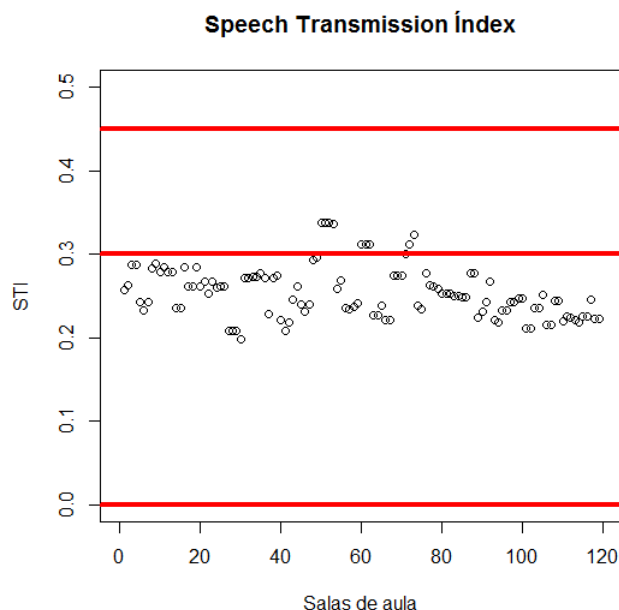
Gráfico 3 - Tempos de reverberação calculados nas salas de aula

Fonte: Pesquisa Direta (2012)

4.1.4 Inteligibilidade da fala (STI)

Os índices de transmissão da palavra (*Speech Transmission Index* – STI) encontrados variaram entre 0,1980 e 0,3377, com média 0,2540 e desvio-padrão 0,03070982, indicando pouca dispersão, ou seja, os dados estão próximos da média. Observou-se que 25% dos índices estão abaixo de 0,2316, enquanto que 75% estão abaixo de 0,2540. Assim, a amplitude interquartil (Q3-Q1) será de 0,0417, o que significa que 50% do NPS estão no em torno da mediana, 0,2496, os quais estão contidos num intervalo com amplitude 0,0417.

Com relação aos parâmetros estabelecidos pela IEC 60268-16/2003, apenas nove salas, 7,5%, apresentaram índices na faixa de 0,3 a 0,45, obtendo uma inteligibilidade fraca, as demais apresentaram índices na faixa de 0 a 0,3, que reflete uma péssima inteligibilidade, constatação que pode ser observada no gráfico (4).

Gráfico 4 - Índice de transmissão da fala medidos nas salas de aula

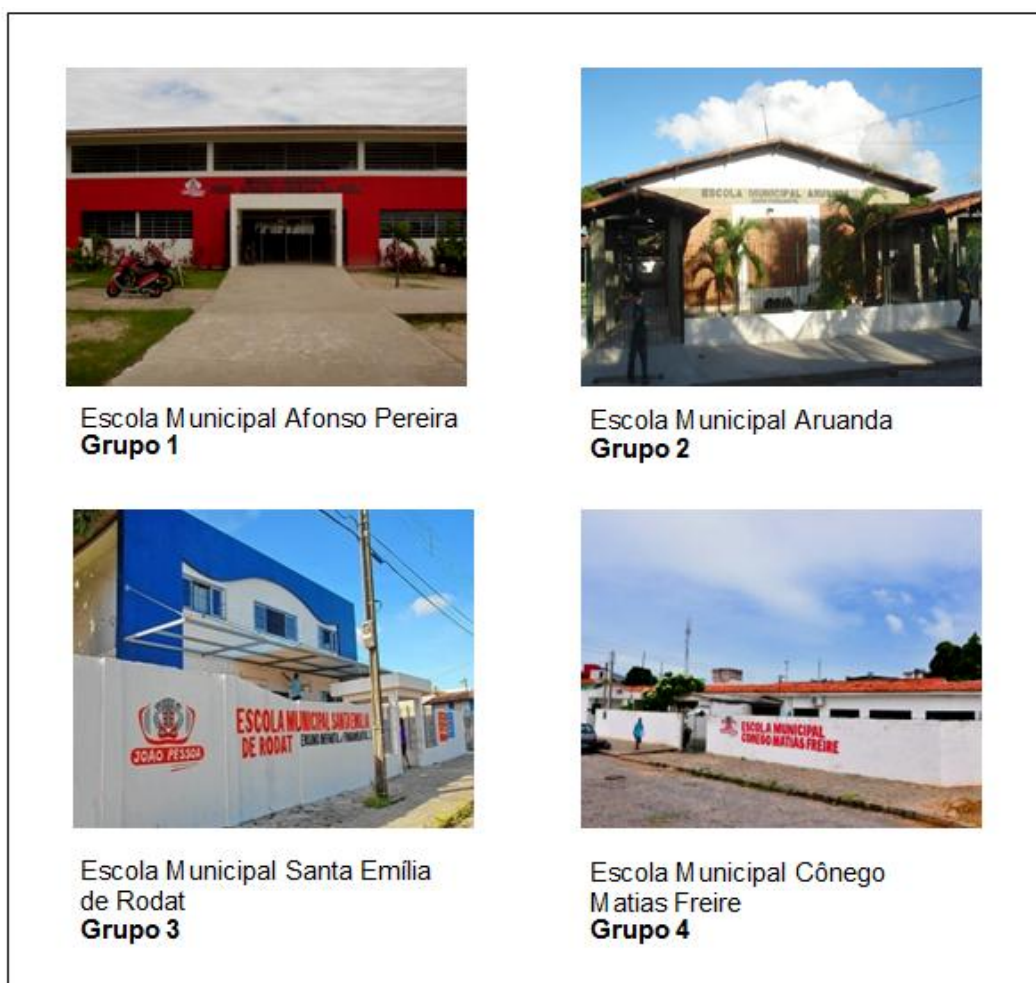
Fonte: Pesquisa Direta (2012)

4.2 Análise cronológica dos padrões arquiteturais

Observou-se durante a pesquisa que as escolas não foram construídas segundo um projeto padrão, havia diversas diferenças tanto com relação ao projeto arquitetônico quanto aos elementos construtivos, e que tais divergências relacionavam-se diretamente ao ano de construção e/ou fundação das escolas. Verificou-se que alguns prédios escolares foram construídos para outros fins (galpões, supermercados, entre outros), mas foram adaptados e transformados em escolas. Outros foram construídos e/ou reformados segundo o projeto padrão da administração municipal da época. Para agrupá-las segundo seu padrão arquitetural desenharam-se os projetos de cada escola e considerou-se o período de construção/fundação das mesmas. Classificando-as em quatro grupos, a saber:

- I. Escolas Novas com dois pavimentos (construídas segundo projeto padrão a partir de 2005);
- II. Escolas Novas com um Pavimento (construídas segundo projeto padrão a partir no período de 1997 a 2005);
- III. Escolas Antigas com dois pavimentos (construídas/fundadas até 1997);
- IV. Escolas Antigas com um pavimento (construídas/fundadas até 1997).

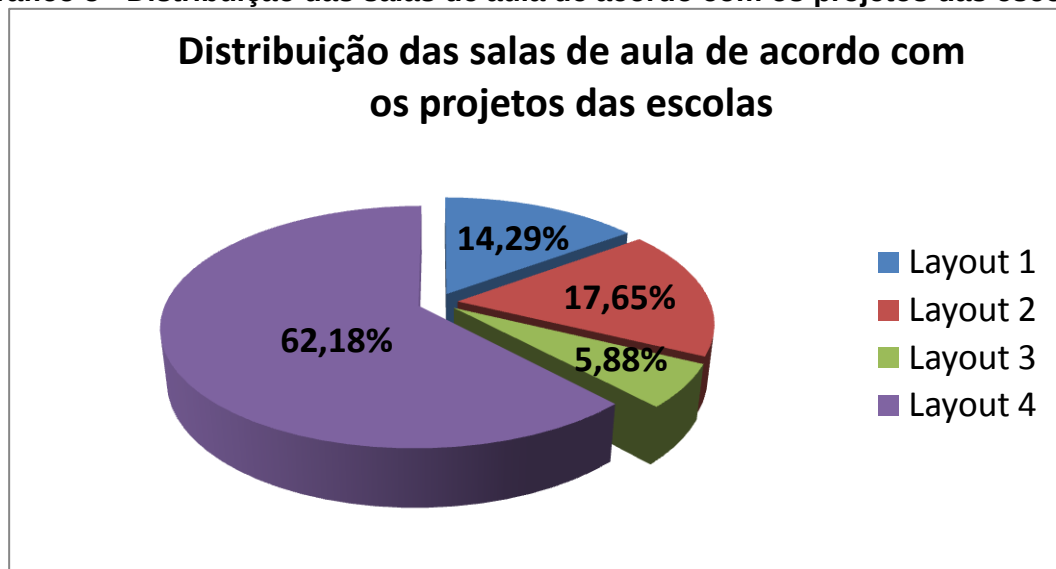
Figura 14 - Exemplos de escolas por grupo



Fonte: Pesquisa Direta (2012)

Após a definição da classificação das escolas verificou-se como as salas de aula que compõem a amostra estão distribuídas segundo o tipo de projeto das escolas. Então, observou-se a que: 17 (dezessete) salas de aula encontram-se em escolas novas com dois pavimentos; 21 (vinte e uma) salas de aula encontram-se em escolas novas com um pavimento; 7 (sete) salas de aula encontram-se em escolas antigas com dois pavimentos e 74 (setenta e quatro) salas de aula encontram-se em escolas antigas com um pavimento. Esta distribuição pode ser observada no gráfico (5).

Gráfico 5 - Distribuição das salas de aula de acordo com os projetos das escolas



Fonte: Pesquisa Direta (2012)

É importante destacar, que independente do tipo de projeto das escolas, observou-se uma característica comum nas salas de aula pesquisadas, independente do tipo de projeto, todas apresentam revestimento cerâmico em suas paredes internas (figura 15), variando apenas na altura.

Figura 15 - Salas de aula



Fonte: Pesquisa Direta (2012)

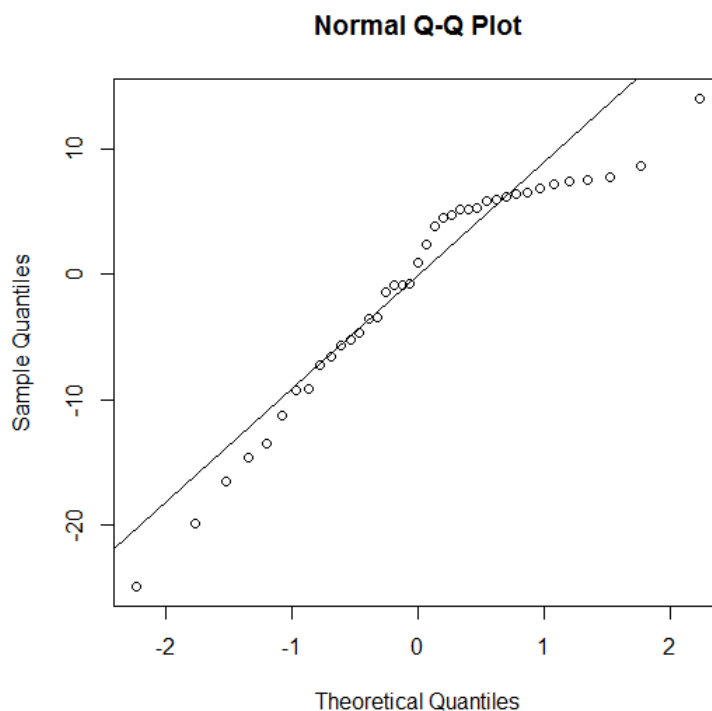
4.3. Análise da relação entre os Níveis de Pressão Sonora (NPS) levando em consideração projetos antigos e novos

Observou-se anteriormente que os Níveis de Pressão Sonora encontrados apresentaram valores superiores aos estabelecidos pelas normas o que indica que níveis podem estar contribuindo para uma má qualidade da inteligibilidade nas salas

de aulas. Porém, algumas salas fazem parte de edificações novas, outras, de edificações antigas. Ou seja, levando-se em consideração os projetos das escolas, há salas que são advindas de escolas que foram construídas recentemente, outras, de escolas mais antigas. Assim sendo, será que os NPSs possuem diferenças significativas se comparados com as edificações novas e antigas?

A estatística $t_student$ com $p\text{-value}=0,4983>0,05$ mostra que a hipótese das médias dos NPSs entre as escolas novas e antigas serem iguais é verdadeira. Então, o fator de haver salas de aulas em escolas com projetos arquitetônicos considerados recentes não contribui para a qualidade acústica da sala de aula. O gráfico (6), Normal Q-Q Plot, ratifica o resultado deste teste, pois os NPSs entre as escolas novas e antigas possuem, no conjunto, comportamento uniforme.

Gráfico 6- Normal Q-Q Plot



Fonte: Pesquisa Direta (2012)

4.4 Modelagem Matemática

Observou-se através de análise estatística descritiva que as variáveis NPS, RE, TR e STI não estão em conformidade com as normas. O teste *t_{student}* e o gráfico *Q-Q plot* mostraram que mesmo nos projetos de edificações mais novos não houve mudança significativa nos níveis de pressão sonora.

A partir destas constatações torna-se importante avaliar como o nível de inteligibilidade na sala de aula pode ser afetado por alguma variável. Uma questão a ser levantada é como o Nível de Pressão Sonora, Ruído Externo e o Tempo de Reverberação poderiam interferir no Índice de Transmissão da Fala nas salas de aulas avaliadas. Mas antes de analisar esta questão precisa-se primeiramente avaliar as correlações entre estas variáveis. Um fator representativo de dependência entre elas permitirá escolher as variáveis dependente e independentes. O quadro (4) apresenta as correlações, ressaltando associação forte entre STI e TR ($r = -0,99373916$).

Quadro 4 - Matriz de correlação

	NPS	REXT	TR	STI	PROJETO
NPS	1,0000000	0,10007630	- 0,14933457	0,16221662	- 0,06046220
REXT	0,1000763	1,00000000	0,19389128	- 0,17564388	0,07546456
TR	- 0,1493346	0,19389128	1,00000000	- 0,99373916	- 0,02082661
STI	0,1622166	- 0,17564388	- 0,99373916	1,00000000	0,03720505
PROJETO	- 0,0604622	0,07546456	- 0,02082661	0,03720505	1,00000000

Fonte: Dados da Pesquisa

A correlação apresentada entre os parâmetros STI e TR, $r = -0,99373916$, é representativa e esperada haja vista que segundo a equação (9) STI é função das variáveis TR, D, V e Q. Como não há correlação significativa entre os demais parâmetros, e levando-se em consideração que a distância do ouvinte à fonte sonora (D) varia entre as salas, além de haver variação também entre os volumes das salas (V), é importante verificar qual a probabilidade do TR interferir na qualidade da Inteligibilidade neste específico estudo de caso. Assim, construiu-se um modelo matemático baseado na modelagem de regressão beta, onde STI é função de TR tal que $STI \subset (0,1)$.

Modelo de Regressão Beta

Sejam Y_i as observações tal que para cada valor independente de y tem-se um valor de $STI \in (0,1)$ com distribuição β e média μ_i , e parâmetro desconhecido ϕ . Seja a variável X observações tal que para cada valor independente x tem-se um valor TR . Logo o modelo de previsão para STI será escrito na forma da equação (26).

$$g(\mu_i) = \log\left(\frac{\mu_i}{1-\mu_i}\right) = x_j\beta_j \quad (26)$$

onde $x_j, i = 1, \dots, n$, e $j = 1, \dots, k$, podendo ser reescrito como

$$\frac{\mu_i}{1-\mu_i} = e^{x_j\beta_j}, \quad (27)$$

ou escrito como

$$\mu_i = \frac{e^{x_j\beta}}{1+e^{x_j\beta}} \quad (28)$$

A equação (28) é a função inversa de $g(\mu_i)$. Nesta forma, o parâmetro de regressão β tem uma importante interpretação que é a razão de chances (*odds ratio*), definida por e^{β_j} .

As estimativas dos coeficientes do modelo e seus respectivos erros padrões, valores de Z e probabilidades estão descritos no quadro (5). Observa-se neste quadro que o erro, valor de Z e $\Pr(> |Z|)$ validam as estimativas dos coeficientes intercepto e TR . O valor representativo do pseudo R^2 ratifica a eficácia do modelo em relacionar STI com TR .

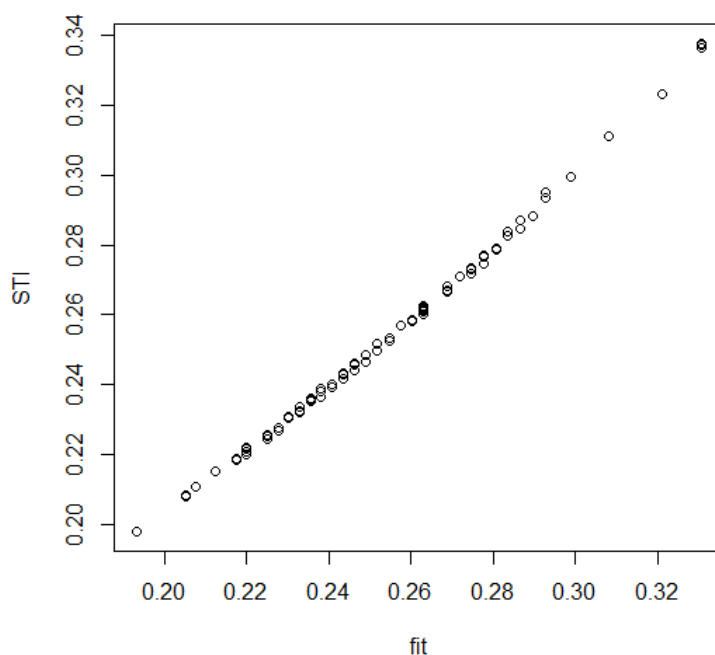
Quadro 5 - Estimativas dos coeficientes do modelo e respectivos erros padrões

Coeficiente	Estimativa	Erro Padrão	Valor de Z	$\Pr(> Z)$
Intercepto	-0,069322	0,006178	-11,22	$2 \cdot 10^{-16}$
TR	-1,477769	0,008997	-164, 24	$2 \cdot 10^{-16}$
Pseudo R^2	0,9956			

Fonte: Pesquisa Direta (2012)

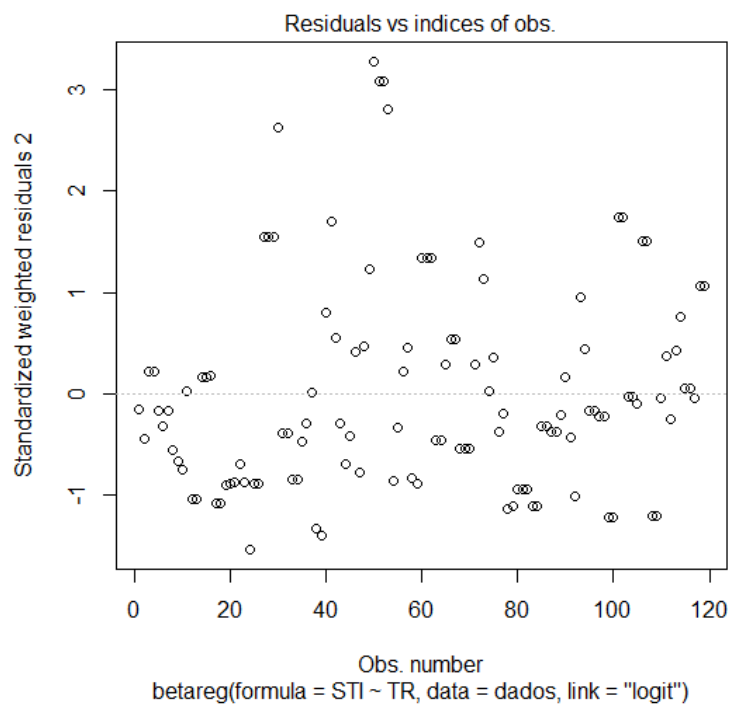
Por outro lado, a consistência do modelo matemático precisa ser ratificada através de avaliação dos gráficos dos resíduos, da observação de pontos influentes (valores que influenciam na estimativa da média da variável dependente), alavanca generalizada e a distância de Cook, as quais serão apresentadas a seguir.

O gráfico 7 apresenta uma uniformidade dos dados caracterizando assim um modelo bem ajustado.

Gráfico 7 – Ajuste do Modelo

Fonte: Pesquisa Direta (2012)

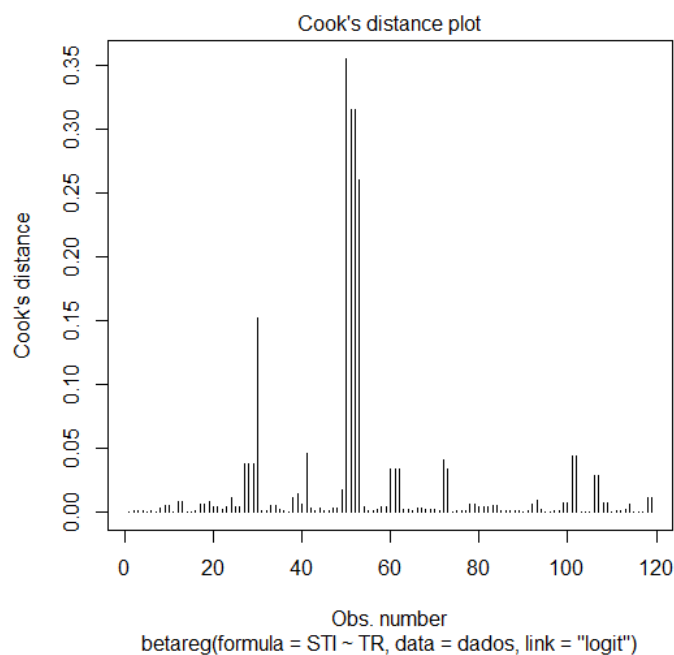
Vale ressaltar que o gráfico 8 mostra poucos pontos considerados *aberrantes*. Ou seja, dentre uma amostra significativa, apenas estes pontos apresentam perfis diferentes das demais observações em relação aos valores da variável STI.

Gráfico 8 - Resíduos x Índices de observações

Fonte: Pesquisa Direta (2012)

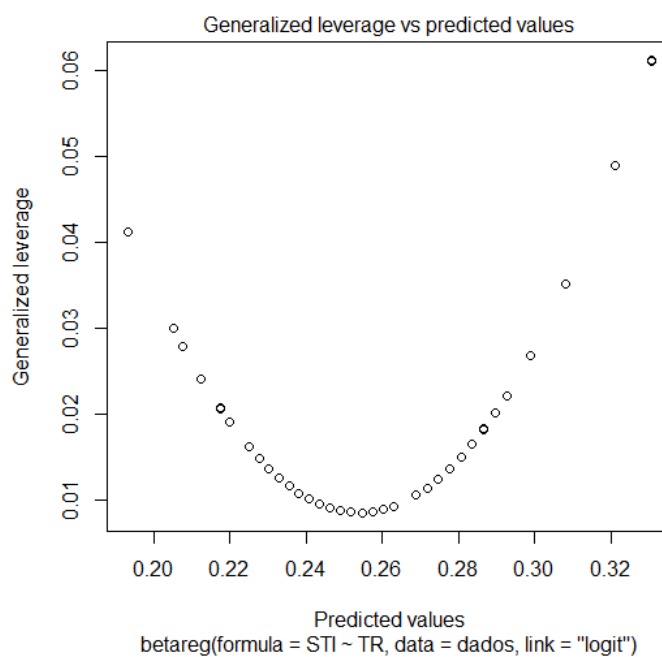
Observa-se, também, que o gráfico 8 não apresenta pontos considerados *influentes*. Ou seja, não há pontos que possam exercer um peso desproporcional nas estimativas dos parâmetros do modelo. E, segundo Cook, R. Dennis; and Weisberg, Sanford (1982); *Residuals and influence in regression*, New York, NY: Chapman & Hall, a distância de Cook desejável é inferior a 1, e esta é evidenciada no gráfico 9.

Gráfico 9 - Distância de Cook



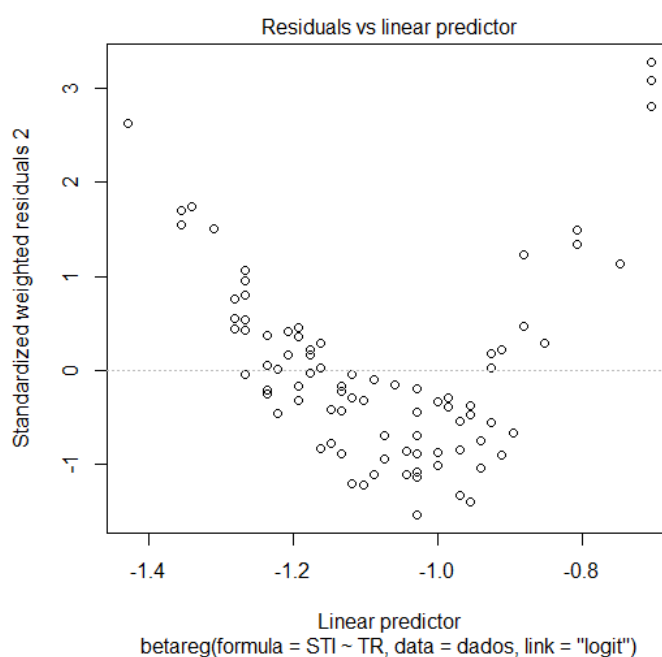
Fonte: Pesquisa Direta (2012)

Outras informações importantes que consolida a modelagem de regressão beta mostrando a influência do TR no STI é a ausência de pontos de *alavancas*. Observando o gráfico 10 não há evidências representativas de pontos de *alavancas* diferentes dos demais em relação aos valores da variável explicativa TR.

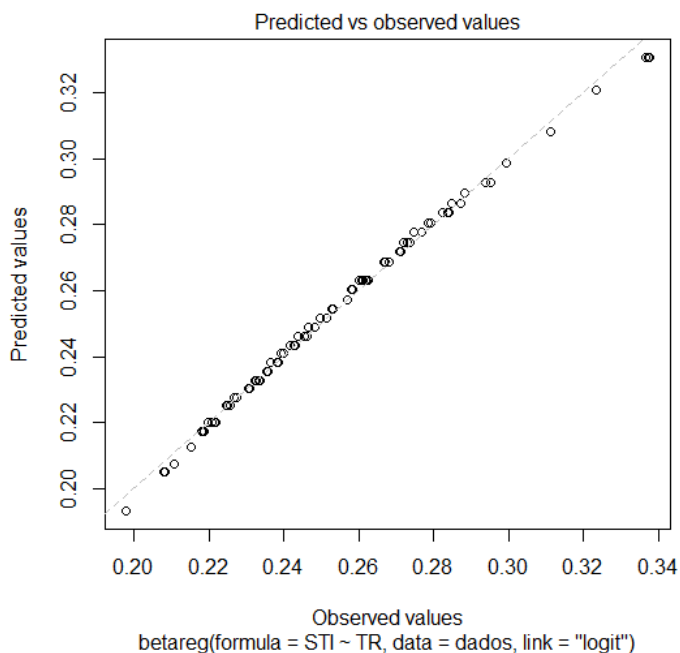
Gráfico 10 - Alavanca Generalizada x Valor Predito

Fonte: Dados da Pesquisa

No gráfico 11 os resíduos padronizados apresentam-se de forma aleatória, sem “saltos” representativos, o que mostra que a variância dos resíduos é constante.

Gráfico 11 - Resíduos x Preditor Linear

Finalizando, o gráfico 12 apresenta os pontos em linha diagonal, indicando uma boa linearidade, ou seja, as previsões se aproximam dos valores reais.

Gráfico 12 - Valores Preditos x Valores Observados

Fonte: Dados da Pesquisa

Assim sendo, a partir destas análises ratifica-se a consistência do modelo. Assim, com base nas informações das estimativas apresentadas no Quadro 4, o modelo matemático de previsão do STI em função do TR está apresentado na equação 27.

$$STI = \frac{e^{-0,069322-1,477769TR}}{1+e^{-0,069322-1,477769TR}} \quad (27)$$

A partir da equação (27) pode-se estimar a razão das chances (*odds ratio*), analisando o quanto a variável TR interfere no STI. O valor $e^{TR} = e^{-1,477769} = 0,228146$ associado ao TR é esta razão. Assim, existe uma chance no entorno de 22 vezes de um professor sofrer uma perda na qualidade da inteligibilidade de sua fala se o TR aumentar a cada segundo. Ou seja, nas condições que se encontram as salas de aulas das escolas avaliadas se comparadas com salas sob controle de conforto acústico, há uma probabilidade no em torno de 77,18% do TR afetar a qualidade da inteligibilidade da fala.

CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

Trabalhar e/ou estudar em um ambiente confortável aumenta não só o bem-estar, mas também a satisfação e, portanto, a produtividade e a aprendizagem. Assim, é necessário alcançar um bom nível de conforto em edifícios educacionais, tendo em vista que os alunos passam, aproximadamente, 30% de suas vidas na escola. As edificações escolares devem contemplar condições que proporcionem o desenvolvimento adequado das atividades educativas, sendo fundamental que suas dependências estejam dentro de padrões admissíveis de níveis de ruídos e sons. Dentre as inúmeras atividades desenvolvidas na escola destaca-se o processo ensino-aprendizagem, destinado às mais diferentes faixas etárias e nos mais diferentes campos do conhecimento.

O desempenho acadêmico nas escolas públicas de ensinos fundamental e médio pode ser inferior do que nas escolas privadas ou públicas federais. Tal fato pode ser ocasionado pelo pouco investimento em instalações físicas e infraestrutura, qualificação do corpo docente, implantação de metodologias pedagógicas adequadas e eficientes, e/ou pela falta aquisição de materiais ou na manutenção em geral, isto é, ajustes termofísicos.

Por outro lado, uma das preocupações levantadas nesta dissertação está associada às condições ambientais das salas de aula, quando relaciona a compreensão da fala do professor ao nível de ruído presente no momento em que ele exercita a função de perpassar o conhecimento para os alunos. Mas como a maioria das edificações escolares, construídas nos últimos trinta anos, apresenta arquitetura bastante padronizada, a inclusão da quadra de esportes, por exemplo, influencia o volume da edificação escolar e, em alguns casos, interfere no desempenho acústico da escola porque o isolamento das vibrações de atividades esportivas exige detalhamento e qualidade construtiva, nem sempre atingida em contratos de obras públicas.

Uma das observações subtraídas das entrelinhas desta dissertação é que muitas edificações escolares seguem um projeto padrão. Entretanto, a padronização nem sempre leva em consideração situações locais específicas, resultando em ambientes escolares desfavoráveis, com problemas de conforto ambiental. Dentro deste prisma o objetivo primordial desta dissertação possibilitou analisar a influência de parâmetros acústicos na inteligibilidade da fala em salas de aula de escolas

municipais de João Pessoa. Foram pesquisadas 119 salas de aula, onde funcionavam turmas do 5º ano do ensino fundamental, tendo em vista que estas turmas possuem uma amostra de alunos mais representativa, com maior faixa etária na primeira fase do ensino fundamental.

Inicialmente, buscou-se mensurar parâmetros acústicos NPS, REXT e TR, que retrataram a ausência de conforto acústico em, praticamente, todas as salas de aula. Os Níveis de Pressão Sonora em sua totalidade estavam acima do previsto na NBR 10152/1987, que estabelece valores na faixa de 40 a 50 dB. Cerca de 75% das salas de aula apresentaram REXTs acima dos estabelecidos pela NBR 10151/2000, que recomenda 50 dB no período diurno em áreas estritamente urbana ou de hospitais ou de escolas. Com relação ao TR, apenas 18,33% das salas apresentaram valores considerados aceitáveis pela ANSI S12.60/2002, que propõe a faixa entre 0,4 e 0,6 segundos para salas de aula.

Um fator preocupante foi a inteligibilidade da fala nas salas de aula, mensurada a partir do *Speech Transmission Index* – STI, que se apresentou em nível péssimo em 92,5% das salas. Apenas nove salas (7,5%) apresentaram índices na faixa de 0,3 a 0,45, obtendo uma inteligibilidade fraca de acordo com a IEC 60268-16/2003. Situação que merece atenção especial dado que a inteligibilidade reflete o grau de entendimento das palavras no interior dos ambientes, considerada como um fator decisivo tendo em vista que nas salas de aula a comunicação é primordial.

Em seguida, observou-se que as Escolas Municipais de João Pessoa, construídas até o ano de 1997, se configuram, em seus projetos, com um ou dois pavimentos, sem um projeto padrão comum, mas com algumas semelhanças. Aquelas que foram edificadas no período entre 1997 e 2005 apresentaram um único pavimento, seguindo um projeto padrão comum. As escolas construídas após o ano de 2005, além de apresentarem um novo projeto padrão, diferenciavam-se das anteriores por propor uma estrutura com dois pavimentos.

No entanto, é importante destacar que, independente do tipo de projeto das escolas, observou-se uma característica comum nas salas de aula pesquisadas. Ou seja, todas as salas possuíam revestimento cerâmico em suas paredes internas, variando apenas na altura. Tais revestimentos apresentam superfícies altamente reflexivas o que ocasiona aumento no tempo de reverberação dos ambientes.

Apesar da existência de diversos estudos que apontam a interferência do tipo de projeto nas condições acústicas das escolas, na presente dissertação foi verificado que em todos os projetos as salas de aula apresentam condições desfavoráveis à comunicação. No que diz respeito ao NPS, a estatística t-student com $p\text{-value}=0,4983>0,05$ mostrou que a hipótese que propunha médias de NPSs iguais é verdadeira, entre as escolas novas e antigas. Portanto, apesar da existência de salas de aulas em escolas com projetos arquitetônicos considerados recentes, estes não contribuíram para a qualidade acústica destes ambientes.

A correlação apresentada entre os parâmetros STI e TR, $r = -0,99373916$, é representativa e esperada haja vista que STI e TR são dependentes entre si. E esta relação forte ratifica estudos que apontam que bons níveis de inteligibilidade de fala, mesmo em pequenas salas de aula, estão relacionados à previsão de bons tempos de reverberação. Mas como não há correlação significativa entre os demais parâmetros, e levando-se em consideração que a distância do ouvinte à fonte sonora (D) varia entre as salas, além de haver variação também entre os volumes das salas (V), foi importante verificar qual a probabilidade do TR interferir na qualidade da Inteligibilidade neste específico estudo de caso. Assim, construiu-se um modelo matemático baseado na modelagem de regressão beta, onde STI é função de TR tal que $STI \in (0,1)$.

A modelagem matemática apresentou uma elevada consistência, com um valor de 0,9956 para o pseudo R^2 e a variável “Tempo de Reverberação” ($p_value = 2 \cdot 10^{-16}$) foi a mais representativa; $odds\ ratio = 0,228126$, demonstrando que esta variável afeta a qualidade da inteligibilidade no em torno de 77,18%.

Como é possível observar, estima-se que o objetivo inicialmente proposto foi alcançado. Deste modo, a presente dissertação contribui para a área de Ergonomia Ambiental, ou *Environmental Ergonomics*, de acordo com a Associação Internacional de Ergonomia Ambiental. Especificamente, nesta dissertação, o enfoque para o conforto acústico em ambientes de ensino, cujo propósito de muitos dos estudos é o desenvolvimento de métodos para avaliar, modelar, predizer e simular parâmetros acústicos nestes ambientes.

5.1 Direções Futuras

Finalmente, deve-se assumir que as atividades decorrentes da dissertação não se encerram aqui, não se tem a pretensão de esgotar o tema proposto, mas sim, dar um passo inicial nas pesquisas a respeito da acústica de salas de aula, sobretudo na região nordeste e, mais precisamente, no estado da Paraíba. A fim de ampliar os conhecimentos a respeito do assunto, complementando os resultados aqui obtidos, recomenda-se o desenvolvimento das seguintes propostas:

- Avaliação do efeito do ruído e a acústica nas salas de aula na aprendizagem das crianças e desempenho acadêmico
- Aplicação do modelo matemático proposto para avaliação acústica de escolas localizadas no Brasil e em outros países;
- Encontrar com maior precisão o tempo de reverberação ideal segundo a percepção do professor acerca da boa inteligibilidade;
- Investigar outras variáveis do conforto ambiental que em conjunto com as variáveis acústicas poderiam ter reflexos na qualidade da inteligibilidade da fala do professor;
- Estudar a relação entre conforto termoambiental e o desempenho do professor.

Além disso, como é comum em qualquer atividade acadêmica e científica, espera-se ainda elaborar alguns manuscritos (*papers*) para o periódico *Applied Acoustics* - Qualis B1 e/ou para o *Journal of the Acoustical Society of America* – Qualis A1; e para XV International Conference on Environmental Ergonomics, 2013. Esta elaboração permitirá a socialização do conhecimento e quiçá a aplicação prática da pesquisa realizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

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

AIREY, S. **The effects of Classroom Acoustics on School Teachers**. In: Proceedings of the International Symposium on Noise Control for Educational Buildings. Istanbul, 2000. p. 21-30.

ALBANEZ, Alicia; FERREIRA, Francisco e FRANCO, Creso. **A Escola Importa? Determinantes da Eficiência e Equidade no ensino Fundamental Brasileiro**. Pesquisa e Planejamento Econômico, vol. 23, 2002. pp. 453-476.

ALVES, Fátima. **Qualidade na Educação Fundamental Pública nas Capitais Brasileiras: Tendências, Contextos e Desafios**. Departamento de Educação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Tese de doutorado. Rio de Janeiro, 2007.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. **American National Standard Specification for Audiometers (ANSI 3.6)**. New York: ANSI, 1969.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE . **Acoustical Performance Criteria, Design Requirements and Guidelines for Schools (ANSI/ASA S12.60)**. New York: ANSI, 2002.

AMORIM, A. E. B. **Formas geométricas e qualidade de salas de aula: estudo de caso em Campinas – SP**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas, 2007.

ANDRADE, Joana Maria Figueiredo Mota de. **Caracterização do conforto acústico em escolas**. Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em Engenharia Civil — Especialização em construções. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

ARAÚJO, G. M.; REGAZZI, R. D. **Perícia e avaliação de ruído e calor passo a passo: teoria e prática**. Rio de Janeiro: 2002.

AREZES, Pedro Miguel Ferreira Martins. **Percepção do Risco de Exposição Ocupacional ao Ruído**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Guimarães. Portugal. 2002.

ASHA – AMERICAN SPEECH-LANGUAGE-HEARING ASSOCIATION. **Guidelines for addressing acoustics in educacional settings**. Rockville: Asha, 2003.

ASTOLFI A, PELLEREY F. **Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms.** J Acoustics Soc Am. 2008, v. 123(1), p. 163–73.

ASTOLFI, A.; CORRADO, V.; GRIGINIS, A. **Comparison between measured and calculated parameters for the acoustical characterization of small classrooms.** Applied Acoustics . 2008, v. 69, p. 966–976,

BARBOSA, Maria Lígia de O. **Desigualdade e Desempenho.** Belo Horizonte, 2009.

BERANEK, L.L. **Balanced Noise-criterion (NCB) Curves.** Journal of the Acoustical Society of America. 1989, v. 86 (2), p. 650 – 664.

BISTAFA, S. R. , BRADLEY JS. **Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics.** J Acoust Soc Am. 2000, v. 107, p. 861–75.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído.** São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

BLASZAK, M. A. **Acoustic design of small rectangular rooms: Normal frequency statistics.** Applied Acoustics, v. 69, 1356-1360.

BONDI, P., PICCININNI, F.; STEFANIZZI, P. **Acoustic Performance of Rectangular Classrooms.** In: Proceedings of 17th International Congress on Acoustics. Rome. 2001.

BRADLEY, J. **Predictors of Speech Intelligibility in Rooms.** Journal of the Acoustical Society of America, 1986, v. 3, 837-845.

BRADLEY, J. **Optimising Sound Quality for Classrooms.** In: XX Encontro da SOBRAC, II Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações – SIBRAMA. Rio de Janeiro. 2002.

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

BRADLEY, J.; REICH, R.; NORCROSS, S. **On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility.** Journal of the Acoustical Society of America, 1999, v. 4, 1820-1828.

BRASIL. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional.** Diário Oficial da União. Brasília, DF, 23 dez. 1996.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma regulamentadora – 17 Ergonomia (NR-17).** Portaria nº 3.435/90. Brasília, 1990.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Normas regulamentadoras de segurança e saúde no trabalho (NR-15): atividades e operações insalubres**. Portaria 3.214 de jul. 1978. Brasília, 1978

BREHM J, GATES S. **Donut shops and speed traps: Evaluating models of supervision on police behavior**. American Journal of Political Science, 1993, 37(2), 555–581.

BRINK, P.J.; WOOD, M. J. **Advances designs in nursing research**. Newnury, CA: Sage Publications, 1989.

BRITO CRUZ, J. A. de; CARVALHO, L. **São Paulo 450 anos: a escola e a cidade. Projeto Pedagógico CEDAC**. São Paulo: Secretaria Municipal de Educação/BEI, 2004.

BUFFA, E.; PINTO, G. A. **Arquitetura e educação: organização do espaço e propostas pedagógicas dos grupos escolares paulistas. 1893/1971**. São Carlos: EdUFSCAR/INEP, 2002.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica Arquitetônica**. 2 ed. Brasília: Thesaurus, 2010.

CAVANAUGH, W. J.; WILKES J. A. **Architectural Acoustics: Principle and Practice**. United States of America: John Wiley & Sons, 1999.

CELANI, A. C.; BEVILACQUA, M. C.; RAMOS, C. R. **Ruído em escolas**. Revista Pró-fono. São Paulo. 1994. Vol. 6. p. 1-4.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente — **Resolução 001 de 08 de março de 1990**.

CORDEIRO, G. M. & LIMA NETO, E. A. **Modelos Paramétricos**. In: XVI Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística. Águas de Lindóia, São Paulo, 2004.

CRANDELL, C.; BESS, F. **Speech recognition of children in a typical classroom seeting**. American Speech-Language and Hearing Association, 1997, n. 29.

CRANDELL, C.; SMALDINO, J. J.; FLEXER, C. A. **Sound field amplification: applications to speech perception and classroom acoustics**. Clifton Park (NY): Thomson Delmar Learning, 2005.

CURY, Carlos Alberto Jamil. **A Educação Básica no Brasil**. Revista Educação e Sociedade. Campinas, vol. 23, n. 80, setembro/2002, p. 168-200.

DANIEL, R. C. ;COSTA, M. J. OLIVEIRA, T. M. T. **Reconhecimento de fala no silêncio e no ruído em crianças com e sem histórico de repetência escolar**. Pancast. Revista Fono Atual. São Paulo. Ano 6 nº 26 ISSN 1517-0632. 2003. p. 35-41.

DE GIULI, V.; DA POS, O.; DE CARLI, M. **Indoor environmental quality and pupil perception in Italian primary schools**. Building and Environment, 2012, v. 56, p. 335-345

DE MARCO, C. S. **Elementos da acústica arquitetônica**. São Paulo: Ed. Nobel, 2001.

DIERS, D. **Research in nursing practice**. Philadelphia: J. B. Lippincott Company, 1979.

DOBSON, A. J. **An Introduction to Generalized Models**. London: Chapman & Hall, 1990.

Dockrell JE, Shield B. **Children's perceptions of their acoustic environment at school and at home**. J Acoustics Soc Am, 2004, 115(6), p.2964–73.

DUDEK, M. **Schools and kindergartens: a design manual**. Basel (Boston): Birkhäuser, 2007.

ENIZ, A.; GARAVELLI, S. S. L. **A contaminação acústica em ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal, Brasil**. Holos Environment, 2006, v. 6, n. 2, p. 137. ISSN: 1519- 8421(CD-ROM). ISSN: 1519-8634.

EVANS, G. W.; MAXWELL, E. L. **The Effects of Noise on Pre-School Children's Pre-Reading Skills**. Journal of Environmental Psychology, New York, 2000. v.20, p. 91-97.

EVEREST, F. A. **Master Handbook of Acoustics**. 4. ed. United States of America: McGraw-Hill, 2001.

FERNANDES, J. C. Condições **Acústicas Ideais para Ambientes de Aprendizagem**. Global Congress on Engineering and Technology Education. São Paulo, BRAZIL March 13 - 16, 2005, 960p.

FERNANDES, J.C. **Acústica e Ruídos**. Apostila do Curso de Pósgraduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Unesp, Câmpus de Bauru. 2003. 102 p.

FERNANDES, Leandro C. **Apostila I - ACÚSTICA ARQUITETÔNICA**. Disciplina CONFORTO AMBIENTAL. Chapecó, Junho de 2006.

FERRARI SLP, CRIBARI-NETO F. **Beta regression for modelling rates and proportions**. Journal of Applied Statistics, 2004, 31(7), 799–815.

FORTIN, Marie-Fabienne. **O processo de investigação**. 5ª ed. Lusociência – Edições Técnicas e Científicas Ltda. Loures, Portugal: 2009.

GERGES, S. **Ruído: Fundamentos e Controle**. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GIFFORD, R. **Environmental psychology: principles and pratica**. 2 ed. Boston: Allyn and Bacon, 1997.

GIMENEZ, A.; SANCHIS, A. **Evaluation of the atmospheric sound quality in Gandia, Spain**. In: Proceedings of INTERNOISE 97. Budapest, 1997. p. 823-826.

GULDBAEK, J., VINKEL, H. B. and BROENS, M. G. **Transforming Pedagogical Ethos into an Effective Learning Environment**. CELE Exchange, Centre for Effective Learning Environments, 2011/03, OECD Publishing, 2011, Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/5kgdzvmqvjzn-en>

HAN, Ning; MAK, Cheuk Ming. **Improving speech intelligibility in classrooms through the mirror image model**. Applied Acoustics 69, 2008, p. 945–950

HODGSON, M; SCHEREBNYJ, K. **Estimation of the absorption coefficients of the surfaces of classrooms**. Applied Acoustics 67 (9), 2006, p. 936–44.

HODGSON, M. R., REMPEL R., KENNEDY S. **Measurement and prediction of typical speech and background-noise levels in university classrooms during lectures**. J Acoustics Soc Am 1999;105:226–33.

HODGSON, M., NOSAL, E. **Effect of noise and occupancy on optimal reverberation times for speech intelligibility in classrooms**. J Acoustics Soc Am 2002;111:931–9

HODGSON, Murray; WONG, Galen. **Ray-tracing prediction of optimal conditions for speech in realistic classrooms**. Applied Acoustics 70, 2009, p. 915–920.

HOUTGAST, T. **The effect of ambient noise on speech intelligibility in classrooms**. Applied Acoustics, 1981, 14, p. 15-25.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60268 – 16: Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index**. Switzerland, 2003.

IIDA, I. **Ergonomia. Projeto e Produção**. Ed. Edgard Blucher LTDA, São Paulo, 2005.

JESPER, Kristiansen; SØREN, Peter Lund; PER MØBERG, Nielsen; ROGER, Persson; HITOMI, Shibuya. **Determinants of noise annoyance in teachers from schools with different classroom reverberation times**. Journal of Environmental Psychology. 31, 2011, p. 383-392.

JIANG T. **Can noise levels at school gymnasias cause hearing loss: a case study of a physical education teacher**. J Acoustics Soc Am 1997;101:3069.

JIANXIN, Peng. **Chinese speech intelligibility at different speech sound pressure levels and signal-to-noise ratios in simulated classrooms**. Applied Acoustics 71, 2010, p. 386–390.

KENDRICK, P.; COX, T. ; LI, F. F. ; ZHANG, Y. AND JONATHON. **Monastral room acoustic parameters from music and speech**. J. Acoustics. Soc. Am. 124 1, July 2008

KENDRICK, P.; SHIERS, N.; CONETTA, R.; COX, T. J.; SHIELD, B. M.; MYDLARZ, C. **Blind estimation of reverberation time in classrooms and hospital wards**. Applied Acoustics 73, 2012, p. 770–780.

KENNEDY. S.M.; HODGSON M.; EDGETT L.D. **Subjective assessment of listening environments in university classrooms: perceptions of students**. J Acoustics Soc Am, 2006,119(1):299–309.

KIESCHNICK, R.; MCCULLOUGH, B. D. **Regression analysis of variates bserved on (0, 1): Percentages, proportions and fractions**. Statistical Modelling, 2003, 3(3), 193–213.

KNUDSEN, V.; HARRIS, C. **Acoustical Design in Architecture**. Acoustical Society of America. 1988.

KOWALTOWSKI, D. et al. **O conforto no ambiente escolar: elementos para intervenções de melhoria**. In: ENTAC – 2002. Foz do Iguaçu. 2002.

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

KUTTRUFF, H. **Room Acoustics**. Applied Science Publishers LTD. 2nd ed. London. 1979.

LACKNEY, J. A. **Educational facilities: the impact and role of the physical environment of the school on teaching, learning and educational outcomes**. Johnson Controls Monograph Series Report R94-4. School of Architecture and Urban Planning. Milwaukee: Center for Architecture and Urban Planning Research, University of Wisconsin, 1994.

LACKNEY, J.; LONG, C. **Designing healthy schools our children deserve**. School Planning & Management, 2006.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2005.

LENCASTRE, Margarida Maria Mendes de Freitas de Queiroz e. **A inteligibilidade da palavra em igrejas católicas, através de análises de carácter objectivo e subjectivo**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.Porto, 1988.

LERCHER, P.; EVANS, G.W.; MEIS, M. **Ambient noise and cognitive processes among primary schoolchildren**. Environ Behav, 2003;35(6):725–35.

LEVITT, H.; WEBSTER, J. C. **Acoustical Measurements and Noise Control** - Chapter 16 - Effects of Noise and Reverberation on Speech, 1991.

LIBARDI, A; GONÇALVES, C.G.O; VIEIRA, T.P.G.; SILVÉRIO, K.C.A; ROSSI, D.; PENTEADO, R.Z. **O ruído em sala de aula e a percepção dos professores de uma escola de ensino fundamental de Piracicaba.** Distúrbios da comunicação, 2006;18(2): 167-178.

LOSSO, Marco Aurélio Faria. **Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: Avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação.** Florianópolis, 2003. 149p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Orientadora: Elvira Barros Viveiros da Silva

LUBMAN, D.; SUTHERLAND, L. C. Good classroom acoustics in a good investment. Classroom Acoustics, p. 1-2, 2003.

MAKRINENKO, L. I. **Acoustics of Auditoriums in Public Buildings.** USA: Acoustical Society of America, 1994.

MAPP, Peter. **Practical Limitations of Objective Speech Intelligibility Measurements of Sound Reinforcement Systems,** 102nd Convention, Audio Engineering Society, Munique, Alemanha, 1997.

MARTINS, M.; TAÚ, M.; UNZUETA, V.; MOMENSOHN-SANTOS, T. **A interferência do ruído no reconhecimento da fala: Análise do ambiente e da voz do professor.** In: XX Encontro da SOBRAC, II Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações – SIBRAMA. Rio de Janeiro. 2002.

MATAR, M.; BRIGHITH, I. **The Impact of School Design on Academic Achievement in The Palestinian Territories: An Empirical Study.** CELE Exchange, Centre for Effective Learning Environments, 2010/05, OECD. Publishing. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/5kmh36dqbnjd-en>

MAXWELL, E. L.; EVANS, G. W. **The Effects of Noise on Pre-School Children's Pre-Reading Skills.** Journal of Environmental Psychology, New York, v.20, p. 91-97, 2000.

McCULLAGH P. & NELDER. J. A. **Generalized Linear Models,** 2 ed. London: Chapman & Hall, 1989.

MELO, Maria Bernadete Fernandes Vieira de. **Influência da cultura organizacional no sistema de gestão da segurança e saúde no trabalho em empresas construtoras.** Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 2001. Tese de doutorado.

MENEGON, L. D. **O ruído nas escolas e os problemas de saúde gerados a longo prazo de exposição.** Monografia - Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho – USP/Bauru/São Paulo: 2007.

MULLER, Swen. **Medir o STI**. In Proceedings of the 2. II Seminário de Música, Ciência e Tecnologia, 2005, São Paulo (SP) [online]. 2005 [cited 01 August 2011]. Available from: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000102005000100001&lng=en&nrm=iso> .

NAIR, P. , FIELDING, R. **The Language of School Design: Design Patterns for 21st Century Schools**, Designshare, Minneapolis 2005.

NEPOMUCENO, L. A. **Elementos de acústica física e psicoacústica**. São Paulo, Editora Edgar Blücher, 1994.

NETO, Nestor Alves do Nascimento. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2006.

OITICICA, M. L. G. R. & GOMES, M. L. B. **O estresse do professor acentuado pela precariedade das condições acústicas das salas de aula**. XXIV ENEGEP - Encontro Nac. de Eng. de Produção. Florianópolis, 2004.

OLIVEIRA, Romualdo Portela de. **Da universalização do ensino fundamental ao desafio da qualidade: uma análise histórica**. Revista Educação e Sociedade. Campinas, vol. 28, n. 100 - Especial, p. 661-690, out. 2007

OMS - ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD E ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE LA SALUD. **Crêterios de salud ambiental. El ruído**. México. 1980.

ORNSTEIN, S. W.; BORELLI, J. N. **O desempenho dos edifícios da rede estadual de ensino. O caso da grande São Paulo**. São Paulo: FAU-USP, 1995.

PELEGRIIN-GARCIA, David.; BRUNSKOG, Jonas. **Measurement and prediction of voice support and room gain in school classrooms**. J. Acoustics. Soc. Am. 131 (1), January 2012

PICARD M, BRADLEY JS. **Revisiting speech interference in classrooms**. Audiology 2001;40:221–44.

PIMENTEL-SOUZA, F. **Efeitos da poluição sonora no sono e na saúde em geral - ênfase urbana**. Revista Brasileira de Acústica e Vibrações. Vol. 10. p. 12-22, 1992.

RAMDASS, Mala; LEWIS, Theodore. **Towards a model for research on the effects of school organizational health factors on primary school performance in Trinidad & Tobago**. International Journal of Educational Development 32. 2012, p. 482–492

NAIR, P., FIELDING, R. **The Language of School Design: Design Patterns for 21st Century Schools**. Designshare, Minneapolis 2005.

RASMUSSEN, Birgit et al. **Reverberation time in class rooms – Comparison of regulations and classification criteria in the Nordic countries**. Denmark: BNAM 2012: Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting. June 18th-20th, 2012.

RIBEIRO, Carlos Antonio Costa. **Desigualdade de Oportunidades e Resultados Educacionais no Brasil**. Revista de Ciências Sociais, Rio de Janeiro, vol. 54, no 1, 2011, pp. 41 a 87.

RIGOLON, A. (2010), **European Design Types for 21st Century Schools: An Overview**, CELE Exchange, Centre for Effective Learning Environments, 2010/03, OECD Publishing. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/5kmh36gpvmbx-en>

ROBERT, M. **Fondement et étapes de La recherche em psychologie**, 3 ed. Saint-Hyacinthe: Edisem, 1988.

RODRIGUES G. L. **Poeira e ruído na produção de brita a partir de basalto e gnaiss nas regiões de Londrina e Curitiba, Paraná: incidência sobre trabalhadores e meio ambiente**. - Tese Doutorado em Geologia - Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2004.

ROYSTON, Patrick; SAUERBREI, Willi. **Multivariable model-building: a pragmatic approach to regression analysis based on fractional polynomials for continuous variables**. Ed John Wiley and Sons, 2008.

SANTOS, T. M. M., RUSSO, I. P. **A Prática da Audiologia Clínica**. São Paulo: Cortez. 1999.

SANTOS, U. P.; MORATA, T. C. **Efeitos do ruído na audição**. In: SANTOS, U. P. (org) **Ruído: risco e prevenção**. 2. ed. São Paulo: Hucitec, 1996.

SEEP, B. **Acústica de Salas de Aulas**. Revista de Acústica e Vibrações, Nº 29, julho, 2002.

SHIELD B, DOCKRELL JE. **External and internal noise surveys of London primary schools**. J Acoust Soc Am, 2004,115(2), p.730–8.

SILVA, P. **Os efeitos “pernilongo e cascata”**. Revista Acústica e Vibrações. vol. 9 jun/1991. p. 19-25.

SMITHSON M.; VERKUILEN J. **A better lemon squeezer? Maximum-likelihood regression with beta-distributed dependent variables**. Psychological Methods, 2006, 11(1), 54–71.

SOARES, José Francisco. **Melhoria no desempenho cognitivo dos alunos do ensino fundamental**. Cadernos de Pesquisa. Vol. 37. N. 30., jan/abr 2007, p. 135-160.

SOCINI, F & COSTA, M. J. & OLIVEIRA, T. M. T. **Queixa de dificuldade para reconhecer a fala X limiares de reconhecimento de sentenças no ruído em**

normo-ouvintes com mais de 50 anos. Pancast. Revista Fono Atual. São Paulo. Ano 6 nº 26 ISSN 1517-0632. 2003 p. 04-11.

SOUZA, Lea Cristina L. de. **Bê-a-ba da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura.** Bauru, SP: [a.n.], 2003. 149 p.

SUBRAMANIAM N, RAMACHANDRAIAH A. **Speech intelligibility issues in classroom acoustics – a review.** J Inst Eng India – Pt AR 2006;87:29–33.

TANG, S. K. **Speech related acoustical parameters in classrooms and their relationships.** Applied Acoustics 69, 2008, p.1318–1331.

TANNER, C.K. **Explaining relationships among student outcomes and the school's physical environment.** Journal of Advanced Academics 19 (3) , 2009, p. 444–471.

TORO, Marlenne G. U.; SOEIRO, Newton Sure; MELO, Gustavo da Silva Vieira de. **Proposição e análise acústica de um ambiente escolar para atendimento das necessidades relativas ao processo ensino aprendizagem.** IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Agosto/2006, Recife-PE

ULINE, L.; TSCHANNEN-MORAN, M. **The walls speak: the interplay of quality facilities, school climate and student achievement.** Journal of Educational Administration 46 (1), 2008, p. 55–73.

VALLE, Sóllon do. **Manual prático de acústica.** 3 ed. Rio de Janeiro: Música & Tecnologia, 2009. 355 p.

VALLET, M. **Some european standards on noise in educational buildings.** In: Proc. of the Int.Symposium on Noise Control for Educational Buildings. Istambul, 2001, p. 13-20.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** 3. ed, São Paulo: Atlas, 2004.

VERMEIR, G.; GEETERE, L. **Classrooms acoustics in Belgium schools: experiences, analysis, design.** In: Proceedings of INTERNOISE 2002. Dearborn. 2002.

XIEM H.; KANG, J.; TOMPSETT, R. **The impacts of environmental noise on the academic achievements of secondary school students in Greater London.** Applied Acoustics 72, 2011, p. 551–555.

YANG W, HODGSON M. **Optimum reverberation for speech intelligibility for normal and hearing-impaired listeners in realistic classrooms using auralization.** Build Acoustics 2007c,14(3), p.163–77.

YANG W, HODGSON M. **Validation of the auralization technique: comparative speech-intelligibility tests in real and virtual classrooms.** Acta Acust United Acust 2007a, p. 991-999.

YANG WY, HODGSON M. **Acoustical evaluation of preschool classrooms**. Noise Control Eng J. 2005, 53(2), p.43–52.

YANG WY, HODGSON M. **Auralization study of optimum reverberation times for speech intelligibility for normal and hearing-impaired listeners in classrooms with diffuse sound fields**. J Acoustics Soc Am, 2006,120(2), p. 801–807.

YANG WY, HODGSON M. **Ceiling baffles and reflectors for controlling lectureroom sound for speech intelligibility**. J Acoustics Soc Am 2007b;121(6), p.3517–26.

ZANNIN PHT, LORO CP. **Measurement of the ambient noise level, reverberation time and transmission loss for classrooms in a public school**. Noise Control Eng 2007, 55(3), p. 327–33.

ZANNIN PHT, MARCON CR. **Objective and subjective evaluation of the acoustical comfort in classrooms**. Appl Ergonom, 2007, 38, p.675–80.

ZANNIN, P. H. T. **Acústica ambiental**. Apostila do Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico, Universidade Federal do Paraná, 2002.

ZANNIN, P. H. T. et al. **Incômodo Causado pelo Ruído Urbano à População de Curitiba – PR**. Revista Saúde Pública, Vol. 36, Nº4, agosto, 2002.

ZANNIN, P.H.T.; ZWIRTES, D.P.Z. **Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools**. Applied Acoustics, 70, 2009, p. 626–635

ZUCCO, C. **The president's “new” constituency: Lula and the pragmatic vote in Brazil's 2006 presidential elections**. Journal of Latin American Studies, 2008, 40(1), p. 29–49.

ANEXO – Relação das Escolas Municipais de João Pessoa



PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA - PARAÍBA
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO E CULTURA – SEDEC
DIRETORIA DE GESTÃO CURRICULAR
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO E FINANÇAS

RELAÇÃO DAS ESCOLAS / GESTORES**POLO – 01**

	Unidade / Endereço	Fone Escola	Gestores
1	ANA CRISTINA ROLIM MACHADO	3218.9359	- Jose Bonifacio de Araujo - Péricles Dias de Medeiros - Cassia Monteiro de Araújo
	Av. Hilton Souto Maior – 555 - Água Fria		
2	ANITA TRIGUEIRO DO VALE	3252.1498	- Maria das Graças da S. Queiroz - Reginalda da Costa - Iolanda Maria O. Ramalho - Ivone de Araújo Monteiro
	Rua Emilio de Araújo Chaves -118 - Altiplano		
3	ANTONIO SANTOS COELHO NETO	3251.1483	- Rosilene Do Bom Parto Ferreira - Luzia Fidelis Da Silva - Lúcia Verônica A. Liberal - Maria do Carmo Santos Tavares
	Rua. Osvaldo Pessoa S/N – Praia da Penha	3251.1114	
4	ARUANDA	3235.4852	- Abigail Niedja M. S. Braga - Tecla Cristina T. Figueiredo - Ruth Limeira F. dos Santos
	Rua. Eurídice Félix Cabral s/n - Bancários	3218.9362	
		3235.4851	
5	DAVID TRINDADE	3214.3182	- Hilda da Silva Santos - Beatriz Souza Soares - Angélica M ^a D. A. Lopes - Maria de Lourdes S. Oliveira
	Rua José Mendonça de Araújo – 88 – Mangabeira/ PROSIND	3238.7370	
6	INDIO PIRAGIBE	3214.3185 3238.8770	- Francineide C. de Moraes - Jeane Rodrigues Vieira - Mônica Guedes Brandão - Marcia Veloso Silva
	Rua Beatriz Marta de Oliveira, s/n – Mangabeira		
/7	JOÃO GADELHA DE OLIVEIRA	3213.0090	- Ana Lúcia de A. Nunes - Joaquim T. de Almeida Filho - Elizabeth Martins Nunes - Rosa Maria Ferreira de Alencar
	Rua. Ivan de Assis Costa s/n – Mangabeira VII	3238.6904	
8	LIONS TAMBAU	3218.9361	- Maria da Luz F. Albuquerque - Aila Fabiana Costa S. Cruz - Guiomar Medeiros F. Moreira - Maria Galvani Vieira
	Rua Francisco F. Sousa - 31 - Água Fria	3255.1516	
9	LUIZ VAZ DE CAMÕES	3239.3802	- Francisca Lucinete da. S. Gonçalves - José Carlos de Melo - José Vamberto de O. Santos - Maria de Lourdes G. Ferreira
	Rua Josefa Taveira, s/n - Mangabeira	3214.1993	
10	OLÍVIO RIBEIRO CAMPOS	3218.9358	- José Mário Araújo E. Caldas

	Rua. Esmeraldo G. Vieira – 195 - Bancários	3235.1959	- Cristina O. de Carvalho - Maria das Graças Feitosa - Ana Maria Nascimento da Silva
11	VIRGINIUS DA GAMA E MELO	3238.6344	- Francisco Rodrigues Tenório
	Rua Com. Antonio S Lima - 30 Mangabeira I	3238.5714	- Joana Nita de Souza - Maria José Rodrigues - Olga Maria do N. L. Cabral
12	ZUMBI DOS PALMARES	3238.6563	- Maria do Socorro dos S. Soares
	Rua Rita Xavier de Oliveira s/n - Mangabeira VI	3213.1921	- Ivonilde Alves Teixeira - Lindalva Alves de Albuquerque - Floripes Maria Santos Santana do Nascimento
13	PROF. AFONSO PEREIRA DA SILVA	3214.3189	Maria das Graça Madruga F. da Silva Zélia Rodrigues de Luna Soares Maria da Penha da Silva Paiva Gerinalva da Silva Gomes
	Rua Dep. Valdevino Lobo Mais- Mangabeira VIII, Cidade Verde		

POLO – 02

	Unidade / Endereço	Fone Escola	Gestores
1	AGOSTINHO FONSECA NETO	3218.9374	-Tereza Cristina Novais de Freitas
	Rua. Fernando Cunha Lima s/n C. B. Vista – Cristo	3223.1827	- Mª de Fátima S. Santos Brito - Normanda E. de Araújo
2	AMERICO FALCAO	3218.9375	- Edna Maria do Amaral Veras
	Av. Dom Bosco - 557 - Cristo - CEP 58.070-470	3223.3583	- Selda dos Santos Andrade - Maria do Socorro de Sousa Barreto
3	ANALICE CALDAS	3218.9818	- Francisca Gomes Barreto
	Rua Cecília Miranda - 22 – Jaguaribe	3262.1385	- Maria das Graças D. Leite - Maria de Fátima O Neves - Maria Jose Santos Oliveira
4	AUGUSTO DOS ANJOS	3223.9819	- Diane Gouveia Vilar
	Rua Olívio de A. Guerra - 391 – Cristo	3218-9365	- Janete Lacet de Paula - Mª do Socorro M. Cavalcante - Mª Hortemilza M. de Melo
5	BARTOLOMEU DE GUSMAO	3218.9140	- Joselanda Andrade Batista
	Rua. Joana Domingos Alves - 120 Conj. INOCOP/Cristo	3231.1668	- Maria Célia D. de Moura - Josenilda soares M. da silva - Mª Elizabeth de Freitas Teixeira
6	EDUC. FRNACISCO PEREIRA DA NÓBREGA	3218.9364	- Rubia Aliane M. Formiga
	ESC. M. DE EDUCAÇÃO INFANTIL DAURA SANTIAGO	3223.9824	- Francimary Graziela Pereira - Maria das Graças S. da Silva - Genilsa Lima Ferreira
	Rua Elias Cavalcanti de Albuquerque , Sn. Cristo.		
7	DURMERVAL TRIGUEIRO MENDES	3218.9368	- Ana Lucia Pedrosa Costa
	Rua .14 de Julho - 891 – Rangel	3223.1795	- Maria do Socorro Silva C. Viana - Alba Maria Pereira - Helena de Fátima P. de Souza
8	FRANCISCO EDWARD DE AGUIAR	3241.2075	- Edineuza Leandro

	Rua. Generino Maciel – 516 – Jaguaribe	3218.9834	- Regina Coeli T. Pereira - Ana Meybe Borges de Lima
9	LEÔNIDAS SANTIAGO	3218.9371 3223.6415 3231.2690	- Maria Madelena G. Pereira - Claudete Ferreira das Neves - Maria de Fátima Neves - Ana Maria dos Santos Dionísio
	Rua São Vicente - 350 – Rangel		
1 0	LUIZ MENDES PONTES	3218.9376 3223.1144	- Vilma Viana Francisca da Silva - Maria do Socorro Ramalho - Maria Lilian de Andrade - Marta Leonora B. dos Santos
	Rua José Gomes da Silva - 415 – Cristo		
1 1	PADRE PEDRO SERRÃO	3218.6726	- Jane Leal Pinto Ramos - Apolonia Maria Falcão de O. Silva - Ana Maria Barbosa Lucena
	Av. Dom Bosco		
1 2	SANTA ÂNGELA	3223.7334 3223.9818 3218.9102	- Maria Helena L. Vasconcelos - Maria de Lourdes P. Alves - Francisca Fátima da R. Melo - Maria Cleide F. de Castro
	Rua. Antônia G. da Silva – 1135 – Cristo		
1 3	SANTA EMÍLIA DE RODAT	3218.9373	- Alessandra T. de Souza - Elinete Palhano de Lima - Eliane André de Almeida
	Rua. 02 de Fevereiro – 306 – Rangel		
1 4	UBIRAJARA TARGINO BOTTO	3223.3775	- Maria Gonçalves do Nascimento - Maria da Conceição Soares - Andréa Karla C. Bezerra - Risalva Leite Dantas
	Av. Da Fraternidade - 950 – Cristo		

POLO – 03

	Unidade / Endereço	Fone Escola	Gestores
1	ANA NERY	3212.6504 3212.6396	- Edvania Maria do Nascimento - Janete Vital da Silva Lira - Edmilson Justino da Silva
	Rua José Gomes de Abreu - 342 - Alto do Mateus		
2	ARNALDO DE BARROS MORREIRA	3218.9396 3233.9877	- Rosinete Alves de Noronha - Patricia de Fátima da Silva - Mônica Alves P. de Aquino - Francisco M. de Medeiros
	Rua. Cap. Francisco Pereira - 365 – B. dos Novais		
3	EUCLIDES DA CUNHA	3233.8033 3218.9381	- Maria Jose Sousa - Dilma de Lourdes G. Lucena - Berenice Silva C. de Lacerda
	Rua Valêncio Lins Mendonça - 97 – B. dos Novais		
4	JOÃO MEDEIROS	3262.3026	- Fátima Aparecida A. Souza - Eliete Francisca Lima - Ricardo Sérgio dos Santos
	Rua. Zulmira de Novais – 546 – B dos Novais		
5	JOÃO SANTA CRUZ	3233.9926 3218.9041	- Gilberto Cruz de Araújo - Bernadete de Jesus de A. Cavalcanti - Maria Goretti Q. Soares - Maria de Lourdes F. Oliveira
	Rua. Des. Santo Stanislaw o 460 – B. dos Novais		
6	JOÃO XXIII	3218.9380 3214.2743	- Elizabete Judite do Carmo - Eliane Cabral do N. Lisboa - Josefa de Souza M. de Lima - Dalnes Cristine de F. Gondim
	Rua. Projetada – 60 – Juracy Palhano – A. do Mateus		
7	JOSE NOVAIS	3218.9394 3262.2001	- Nivonete Rodrigues de Melo - Fernando Guimarães (8857.1937) - Janeide Maria dos Santos
	Rua Santo Stanislaw - 322 - Bairro dos Novais		
8	LUIZA LIMA LOBO	3212.8056	- Mônica Maria Albuquerque

	Rua. Cart. Franc. Inácio R. Filho -25 Alto do Mateus	3212.6394	- Maria Aparecida S. de Lima -Gilberta de Fátima B. de Oliveira
9	NAPOLEÃO LAUREANO	3218.9390 3233.9903	- Maria Ivone Souza da Silva - Edna Andrade de Farias - Rosângela Maria L. de Sousa
	Rua. Cel. Adolfo Massa – 700 – B. dos Novais		
10	SEVERINO PATRICIO	3212.6395 3212.6136	- Vitória Regia V. de LemosViana -Lúcia Maria de Castro -Vanice Duarte Apolinário -Maria da Penha dos Santos
	Rua Indio Arariboia, s/n - Alto do Mateus		

POLO – 04

	Unidade / Endereço	Fone Escola	Gestores
1	ANTONIA DO S. MACHADO	3212.0399 3237.1788	- Estela Maria Reis de Carvalho - Jandira Pontes M. Sousa - M ^a de Fátima de C. Oliveira - Maria Welida da Silva
	Sítio Piragibe – 272 Zona Rural – Cx Postal 54 Monsenhor Magno – Valentina Figueiredo		
2	CARLOS NEVES DA FRANCA	3264.6829	- Lúcia Maria Teixeira C. Santos - Lúcia Domênica S. Lima - Rita de Cássia de O. Tavares
	Rua Leila Diniz - 244 - Conj. José Américo		
3	CICERO LEITE	3218.9406	- Maria Aparecida S. do N. Silva - Rejane de Melo Chancon - Carlos Alberto C. Vieira - Joana D'arc Ramalho Leite
	Av. Goiania, nº 125 - Gravatá (Valentina)		
4	DOM HELDER CAMARA	3237.2778 3212.0400	- M ^a Eudes Santos Silva - Rogéria Sandra M. Albuquerque - Síndio Figueiredo Gomes - Severina dos Ramos P. Mendes
	Rua. Joamil Severino dos Santos – s/n Valentina		
5	DOM MARCELO P. CARVALHEIRA	3218.9407 3212.0255	- Maria de Lourdes de Lima e Silva - M ^a de Lourdes Marcone Tavares - Zacarias Virgino Martins - Maria da Salete de Abrantes
	Rua Projetada, s/n - Cond Liberdade -Sonho Meu		
6	FENELON CAMARA	3218.9139 3231.5435	- Lucidalva Alves de Menezes - Francisco de Assis A.Bezerra - Penha D'arc de Freitas Barros - Lúcia de Fátima A. Monteiro
	Rua Adauto Toledo -157 - Ernesto Geisel		
7	JOSE AMÉRICO DE ALMEIDA	3231.2695 3218.9142	- Dione Menezes da Costa - Sandra Cristina Veloso Lira - Rilda Maria Ramalho - Carmen Luiza da Silva
	R. Cel. Augusto F. Maia – s/n - Cj. José Américo		
8	JOSE EUGENIO LINS DE ALBUQUERQUE	3218.9143 3231.0443 3214.2712	- Gerciane Miranda Gomes - Maria Luiza de Castro - Rômulo Medeiros
	Rua Projetada - s/n Ernesto Geisel		
9	Pe. LEONEL DA FRANCA	3218.9144 3231.5436	- Angelita Silva de Almeida - Maria Gorete Rodrigues Silva -Maria Lúcia do Rosário - Edleuda Silva M. C. da Cunha
	Rua. Antônio Abrantes – 160 – Ernesto Geisel		

POLO 05

	Unidade / Endereço	Fone Escola	Gestores
1	DAMASIO BARBOSA DA FRANCA	3218.9847 3241.2047	- Maria do Socorro Albuquerque - Cleide Carneiro de Amorim - Valter Pereira Gomes - Severina Alves de Souza
	Rua. Sebastião de C. de Lima, s/n – Varadouro		
2	FREI AFONSO	3222.9962	- Maria das Graças de O.Alves - Admilda Cosmo Pereira - Maria Anunciada Ferreira - Maria das Graças Soares
	Av. Ayrton Senna - 250 - Baixo Roger		
3	FRUTUOSO BARBOSA	3218.9839 3241.7424	- Iza Domingos de Lima - Betânia D. Abrantes - Joíse Domingues de Lima - Verônica Maria de Almeida
	Rua Lopo Garro - 200 - Ilha do Bispo		
4	JOSE PEREGRINO DE CARVALHO	3241.8838 3218.9805	- Maria Aparecida A. Brito - João Nailson O. Costa - Elza Marques de Oliveira
	Rua Carneiro de Campos s/n - Ilha do Bispo		
5	MONSENHOR JOÃO COUTINHO	3241.8796	- Maria do Socorro R. Duarte - Albertiza Pires de Lacerda - Josefa Pires de Lacerda - Odete de Lima C. Barbosa
	Rua. 19 de Março – 339 – Baixo Roger		
6	SANTOS DUMONT	3241.7286 3218.9833	- João Francisco da Silva - Maria Adalfran de Oliveira - Ivanilda dos Santos - José Roberto de Lucena
	Rua. Frei Miquelino – 34 – Varadouro		
4	CONEGO JOÃO DE DEUS	3244.5770 3214.7928	- Marcelyno Costa Lima - Francisco de Assis Barros - Fernando Augusto S. Filho - Vera Lúcia Guimarães
	Av. Expedicionários - 728 – Expedicionários		
3	CONEGO MATIAS FREIRE	3244.5646 3214.7930 3244.5646	- Maria Wagne R. Mangureira - Luciane Alves Vieira Madruga - Maria do Carmo Barros
	Rua Germiniano de Franca, s/n – Torre		
10	LEONEL BRIZOLA	3214.7171	- Expedita de O. Monteiro - Maria do Socorro V. L. Silva - Marileide Vieira da Silva - Elizabeth Cabral de Lira
	Rua. Olívio T. Medeiros – 590 – Miramar		

POLO – 06

	Unidade / Endereço	Fone Escola	Gestores
1	ANGELO FRANCISCO NOTARE	3244.2955 3224.5234	- Adelma Falcao da Silva - Maria Nadjá de Medeiros - Valdislene M ^a . Leite R. Tiburtino - Josicléa M ^a do Nascimento
	Praça D. Vilas Boas - 27- Jardim 13 de Maio		
2	FRANCISCA MOURA	3225.0547	- Zeneide Fernandes A.de Almeida - Soraya Maria Motta Grangeiro - Rosilda Maria de Carvalho - Gildásio Rodrigues Teixeira
	Rua Silvino Santos - 27 – Mandacaru angelamviegas@hotmail.com		

3	FREI ALBINO		- Sônia Maria Fideles Coelho - Maria Aparecida da Silva Vasconcelos - Maria do Socorro Egito de Carvalho - Agnes Wildt Cavalcanti Viana
	Av. Gov. Argemiro de Figueiredo - 4455 – Bessa	3246.6953 3268.1201	
4	GENERAL RODRIGO OTÁVIO		- Silene Maria Lira Vital - Helian José S. de Araújo - Leni Matias de Andrade - Sônia Maria Costa Silva
	Av. Mato Grosso - 988 - Bairro dos Estados	3214.7961 3244.5387	
5	HUGO MOURA		- Sônja Maria de Oliveira Cabral - José Saldanha de Araujo Neto - Maria Mariselma Rodrigues Fonseca - Adriana Santos Batista
	Rua Fagundes Varela -113 - Padre Zé	3243.4860 3244.4847	
6	JOSÉ DE BARROS MOREIRA		- Mirtes Carvalho Machado - Carmem Lucia Costa Benicio - Lúcia Marques de Melo - Maria de Fatima Urbano Vasconcelos
	Rua. Monte Castelo – 41 – Mandacaru	3214.7919 3244.6136	
7	NAZINHA BARBOSA		- Geraldina Lins Nacre - Marta Cardoso Nascimento - Mariza Medeiros - Lenilde Pereira de Alcântara
	Rua. Francisco Brandão – 829 – Manaíra	3226.8805	
8	SENADOR RUI CARNEIRO		- Alzeni Andrade Matsubayashi - Joseane dos Santos Santana - Edleuza Maria S. de Lima - Maurilio Cesar Araújo
	Rua. João de Brito – 180 – Mandacaru	3244.2837 3214.7932	
9	SERÁFICO DA NÓBREGA		- Luzia Bernadete M. Souza - Gláucia Denise G.Barbosa - Sônia Elizabeth S. Nóbrega - Jahiel Jacqueline Catão Lucena
	Rua. Ubirajara Targino Botto – 36 – Tambaú	3244.2837 3214.7932	
10	JORNALISTA LUIS AUGUSTO CRISPIM		- Braz Di Lorenzo Oliveira - Edite Ribeiro da Costa - Inês Carvalho Pinto - Maria do Socorro Crispim
	Rua. José Peregrino Montenegro, s/n – B. dos Ipês	3214.7933 3244.5516	
11	VIOLETA FORMIGA		- Elisabete Brasileiro L. Olegário - Marileide dos Santos Rodrigues - Maria da Silva Souza - Geane Climaco de Vasconcelos
	Av. Alfredo José Ataíde – s/n – A. do Céu Mandacaru	3243.5696 3243.7918	

POLO – 07

	Unidade / Endereço	Fone Escola	Gestores
1	ANAYDE BEIRYS		- Marcos Antônio de F. Azevedo - Silvia Liene F. Patriota - M ^a Zélia dos Santos - Célia Maria de Melo
	Rua. Cajazeiras s/n Cid. Verde B. das Indústrias	3218.5817	
2	CANTALICE LEITE MAGALHAES		- Edmar Cavalcante de Nascimento - José Gaudio de Oliveira - Maria das Neves Vieira dos Santos - Lúcia de Fatima Ferreira de Paula
	Rua. Manoel de P. Magalhães - 57 - B.das Indústrias	3212.4591 3218.9363	
3	DUARTE DA SILVEIRA	3218.9388	- José Otaviano Ferraz Neto

	Rua Marieta A Nascimento - 265 - Costa e Silva	3233.7687	-Zeneide Lígia de Araújo Quintino -Walquíria Soares Marinho da Silva -Liana Miranda Ferraz de Oliveira
4	DUQUE DE CAXIAS	3218.9392 3233.7191	- Josefa Jacinto de França - Ivo Lima Ferreira - Carlos Antonio da Silva - Marlene Lira Machado
	Rua Graciliano Delgado - 284 - Costa e Silva		
5	ERNANI SÁTIRO	3233.8471 3214.2896	-Iracema Luiza da Silva Xavier - Azinete Souza da Silva -Maria do Carmo Neves Cassiano
	Rua Prof. José Holmes - 120 - Ernani Satyro		
6	JOÃO MONTEIRO DA FRANCA	3255.3281 3218.9400	- Dalvaci Rodrigues P. Lira - Jonatas Martins Soares - Benigna Veloso Teixeira - Pedro Alves da Silva
	Rua. Mara J. M. do Amaral – 43 Conj. José V. Diniz		
7	MONTEIRO LOBATO	3218.9389 3234.2949	- Rosália Ferreira Leite - Sônia Maria de A. de Carvalho - Maria Cristina Araujo de Almeida
	“”		
8	PAULO FREIRE	3218.9402 3262.8134	- Chirley de Souza S. Martins - Veranice Anísia Viana Paulino - Maria Inês de O. Dias
	Rua. Projetada s/n - Qd 01 -Lt 02 - Conj. Nova Trindade		
9	PRESIDENTE JOÃO PESSOA	3214.2719 3218.9401	- Warner Albuquerque Pontes - Natalina F. Gonçalves - Maria José de F. Lopes - Maria Marli C.dos Santos
	Rua. Martinho Lutero – 520 – Jd. Veneza		

POLO – 08

	Unidade / Endereço	Fone Escola	Gestores
1	ANISIO TEXEIRA	3218.9384 3233.2369	- Clésio Borborema Brito - Maria Socorro G. Bezerra - Lêda Maria Numes Cordeiro - Alcida Alves S. Souza
	Rua Lourenço Cesar - 369 - Esplanada I		
2	ANTENOR NAVARRO	3220.1042	- Jesualdo Nobrega do Nascimento - Francinete Elita Brasil - Silvia Aparecida V. da Silva -Maria Elisa de Almeida Navarro
	Gramame - 25 000 – Gramame		
3	DARCY RIBEIRO	3233.8985 3218.9382	- Israel Pereira Gomes - Aurília Abrantes de Q. Pereira - Nair Paulino de Brito - Idinalda Aguiar Trindade
	Rua Projetada s/n - Funcionários II		
4	JORNALISTA RAIMUNDO NONATO	3214.3209	- Bento Carvalho de L. Filho -Adelsir Cavalcanti S. dos Santos - Sônia Maria Máximo
	Rua Projetada s/n– Gervásio Maia. Gramame		
5	MOEMA TINOCO CUNHA LIMA	3233.3735 3218.9378	- Maria Coely R. B. Alencar - Twana Rodrigues Macedo - Djaneide Ramos Silva - Irene Soares de Andrade
	Rua. Severino B. de Moraes – 175 – Funcionários II		
6	PEDRA DO REINO	3234.3040 3233.9467	- Maria Gomes Dantas - Marcelina Gonzaga de Luna - Maria do Socorro Villa Nova - Lúcia Pessoa Ferreira
	Rua Projetada s/n – Grotão		

7	THARSILLA BARBOSA DA FRANCA	3218.9398 3233.6439	- Maria de Fátima R. dos Santos - Maria Leite Cavalcante de Andrade - Maria das Graças de Brito - Maria de Fátima F. Santos de Lima
	Rua. Nossa Senhora da Paz - 72 – Grotão emtbfb@hotmail.com		
8	ECON. CELSO MONTEIRO FURTADO	3214-3669	- Josiane Doía de A. Pimentel - Arlete Chacon Santos - Maria Adjanith Bezerra de Moura - Maria do Rosário de O. dos Santos
	Rua M ^a Carneiro dos Santos, 50 João Paulo II, Func. I		

POLO – 09

	Unidade / Endereço	Fone Escola	Gestores
1	ALMIRANTE BARROSO	3218.9379 3233.3527	- Maria da Penha Araújo - Joseni Lemos Souza Oliveira - Edileuza Cabral Ferreira
	Rua. Enedino Jorge - 371 - C. das Armas		
2	ANALICE GONÇALVES DE CARVALHO	3215.6133 3242.7683	- Antonio Alberto da Costa Souza - Joseneide Cordeiro da Silva - M ^a Gorett da S. Souza
	Rua 04 de Outubro - 653 - Cruz das Armas		
3	ANIBAL MOURA	3215.6132 3242.7680	- Maria Emilia Coelho da Silva Correa - Ivone de Moraes Rio Branco - Loydmar Batista Costa - Solange Santos Gonçalves
	Rua São Salvador -25 - Cruz das Armas		
4	APOLONIO SALES DE MIRANDA	3222.5819	- Maria Elizabeth Rodrigues Sales - Suely de Souza Azevedo Barros - Conceição de Maria Oliveira Souza - Valdeniza Coutinho Santana
	Rua Eng. Retumba - 240 - Cruz das Armas		
5	CASTRO ALVES	3233.1687	- João Letício de Sousa - Maria de Fátima O. dos Santos - Maria Eunice Alves de Sousa - Zélia Benedito Santos de Sousa
	Rua Manoel Guerra – 71 – Funcionários I		
6	OSCAR DE CASTRO	3215.6130	- Lindemberg de Paiva Bronzeado - Marlene Carlos Fernandes - Maria Verônica da Silva - Ângela Cavalcanti da Silva
	Rua Lima Filho -147 - Cruz das Armas		
7	RENATO LIMA	3215.6131	- Cleidivane Marques B. de Moura - Maria Camilo do Nascimento - Maria Celi F. M. Medeiros
	Rua. Monsenhor Severino – 270 – Cruz das Armas		
8	ZULMIRA DE NOVAIS	3262.3311 3233.5029	- Tereza Lúcia de F. Albuquerque - Paulo Oliveira dos Santos - Francineide Maria Marcone - Marisalva do N. Pereira Correia
	Rua Sara Tereza - 570 - Cruz das Armas		

APÊNDICE I – Teste Piloto

No sentido de avaliar o roteiro e procedimentos estabelecidos para a realização da coleta de dados, refletir sobre padrão amostral do estudo a ser realizado, além sublinhar as possíveis relações entre as variáveis, seus efeitos e comparações com normas nacionais e internacionais, fez-se um teste piloto numa escola Municipal de João Pessoa onde foram avaliados os aspectos acústicos de turmas do 1º ao 5º ano, turnos manhã e tarde, cujos resultados estão descritos a seguir:

Os gráficos 1 e 2 apresentam os comportamentos dos níveis de ruído medidos nas salas de aula do turno da manhã e tarde, respectivamente. No turno da manhã os resultados indicam valor mínimo de 73,40 dB(A) e máximo de 87,30 dB(A), tais valores encontram-se fora dos limites estabelecidos na legislação vigente. No turno da tarde verifica-se que os valores indicam um ambiente insalubre em quase todas as salas de aula, exceto nos pontos 2 e 3 na sala do 3º Ano B.

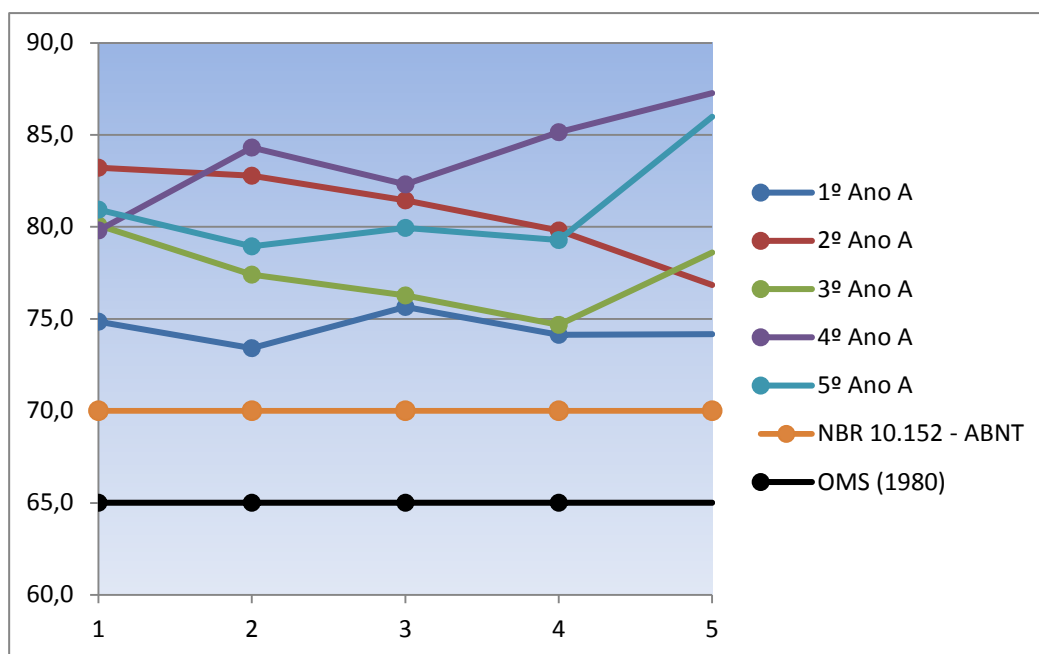


GRÁFICO 1 – Nível de ruído em salas de aula do turno da manhã. Fonte: Dados coletados durante a pesquisa

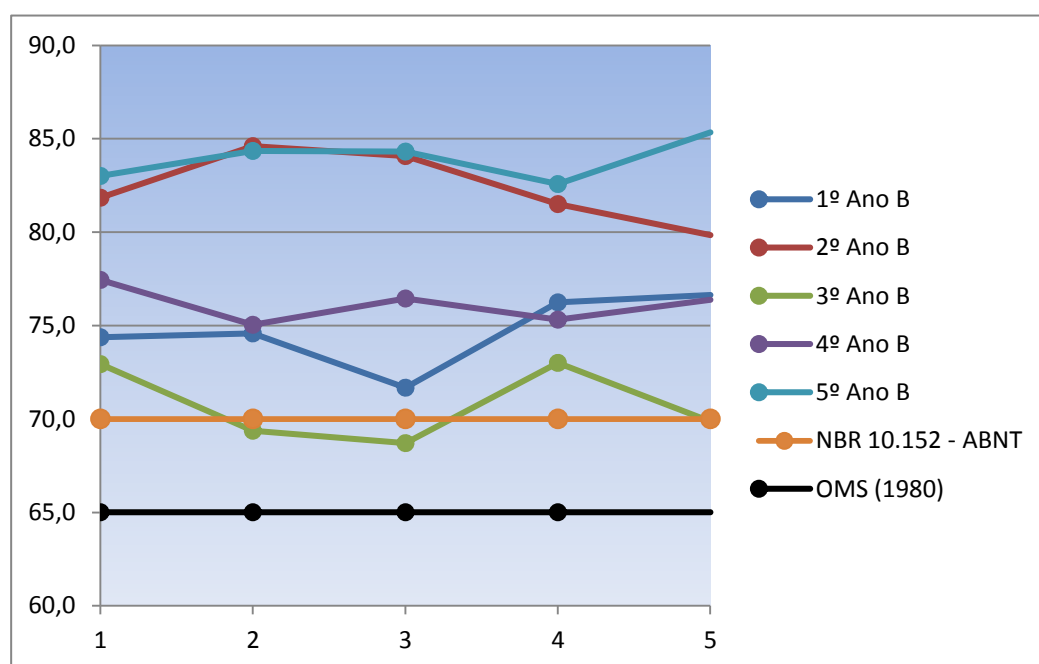


GRÁFICO 2 – Nível de ruído em salas de aula do turno da tarde. Fonte: Dados coletados durante a pesquisa

Comparados com os parâmetros estabelecidos pela NBR 10.152/1987, no qual o ruído em sala de aula é considerado inadequado quando se encontrar acima

de 70 dBA, podendo desencadear reações fisiológicas; os valores indicam um ambiente insalubre em todas as salas de aula. De igual modo, a Organização Mundial de Saúde – OMS (WHO, 1980) afirma que acima de 65 dB(A) o ruído pode prejudicar o trabalho, o descanso, o sono e a comunicação; podendo causar danos à audição e causar ou provocar reações psicológicas, fisiológicas e patológicas.

Analisando os dados coletados, é possível afirmar que as salas de aula desta escola municipal apresentaram resultados preocupantes, uma vez que todas as salas de aula pesquisadas encontravam-se inadequadas para a atividade a que se destinam, tendo por base a qualidade acústica que deve ter um ambiente como este. Esta avaliação preliminar permitiu concluir que as salas de aulas, de um modo geral não dispõem de condições necessárias para cumprir de forma eficiente os seus objetivos.

APÊNDICE II – Questionário

LEVANTAMENTO DA ACÚSTICA E CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS

Escola Municipal _____

Endereço: _____

Telefone: _____

Contato : _____ Função: _____

Turma: _____

Data da Medição: ____/____/____

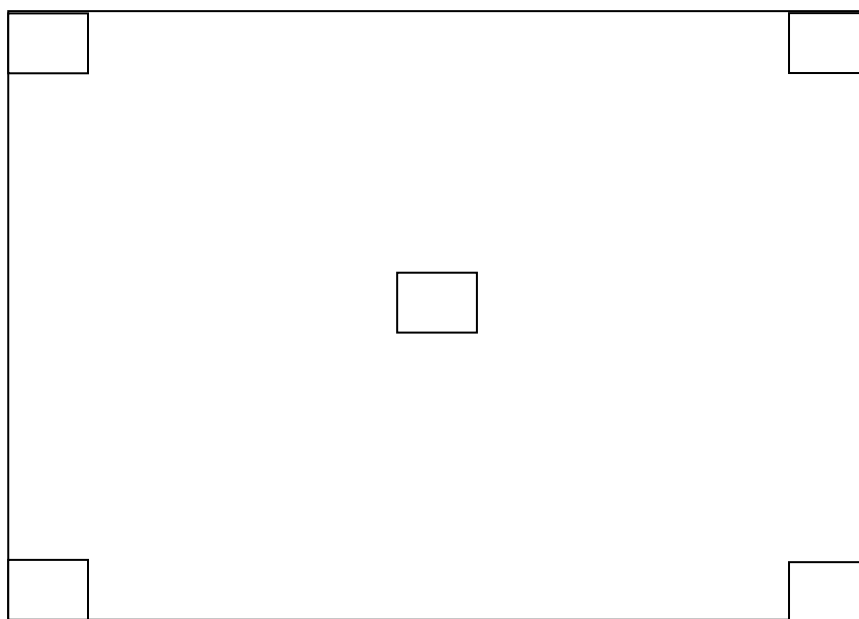
Hora: ____:____ h

I - MEDIÇÕES DE ACÚSTICA

Pontos	Medição 1	Medição 2	Medição 3
P1			
P2			
P3			
P4			
P5			

Pontos	Medição 1	Medição 2	Medição 3
P1			
P2			
P3			
P4			
P5			

IDENTIFICAR OS PONTOS DE MEDIÇÃO E A POSIÇÃO DO PROFESSOR FAZENDO UM BREVE LAYOUT COM A LOCALIZAÇÃO DA PORTA, DA MESA DO PROFESSOR E DISPOSIÇÃO DAS CARTEIRAS E ARMÁRIOS NA SALA.



II - LEVANTAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS ARQUITETÔNICAS

1. Fotografar a escola da seguinte forma:

- Três fotos internas
- Uma foto do corredor
- Duas fotos externas (sala / prédio)

2. Medidas da Sala:

Largura: _____

Comprimento: _____

Pé-Direito (Altura): _____

Dimensões das aberturas e quantidade: _____

3. Orientação do prédio / sala (Norte, Sul, Leste, Oeste)

4. Esquema da Planta baixa da sala e ambientes vizinhos.

APÊNDICE III – Carta de Apresentação

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO E CULTURA
DIRETORIA DE GESTÃO CURRICULAR - DGC

João Pessoa, 02 de Fevereiro de 2011.

Senhor (a) Diretor (a),

Estamos autorizando os alunos de Curso de Engenharia de Produção da UFPB, relacionados abaixo: a realizar pesquisa “Estudo dos Parâmetros Acústica, Inteligibilidade e Capacidade em Ambientes nas Escolas da Rede Municipal de Ensino. Para isso necessitamos da colaboração de Vossa Senhoria para desenvolver a referida atividade nesta Unidade Escolar.

✓ Aluna do Mestrado em Engenharia de Produção:

Roberta de Lourdes Silva dos Santos - Matrícula 110100016

✓ Alunos da Graduação em Engenharia de Produção e Bolsistas de Iniciação Científica (PIBIC):

Luciano Carlos Azevedo da Costa - 10811151

Paulo Guilherme de França Alcantara - 10521154

Tatianne Barros Marinho - 10521140

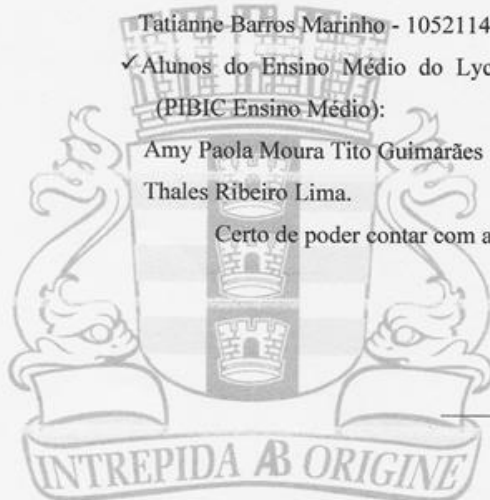
✓ Alunos do Ensino Médio do Lyceu Paraibano e Bolsistas de Iniciação Científica (PIBIC Ensino Médio):

Amy Paola Moura Tito Guimarães

Thales Ribeiro Lima.

Certo de poder contar com a colaboração, agradeço antecipadamente.

Atenciosamente,




Antonio Marcelo Bandeira Alves
Diretor de gestão Curricular

APÊNDICE IV – Rotina utilizada no software R

```
dados = read.table(file="C:\\Users\\LAT\\Desktop\\Roberta\\dadosnovos2.txt",
header=TRUE, dec=".")
attach(dados)
library(boot)
names(dados)
dados
is.numeric(NPS)
is.numeric(STI)
is.numeric(REXT)
is.numeric(TR)
is.numeric(LAYOUT)
```

Análise descritiva

```
#NPS
plot(NPS, xlab="Salas de aula", ylab="NPS", main="Níveis de pressão sonora -
NPS", xlim=c(0,120), ylim=c(20,90))
abline(h=40,lwd=4, col=2)
abline(h=50,lwd=4, col=2)
summary(NPS)
sd(NPS)
```

```
#REXT
plot(REXT, xlab="Salas de aula",ylab="REXT" , main="Ruído Externo",
xlim=c(0,120),ylim=c(20,80),space=1.5,axisnames = TRUE)
abline(h=50,lwd=4, col=2)
summary(REXT)
sd(REXT)
```

```
#TR
plot(TR, xlab="Salas de aula",ylab="TR" , main="Tempo de
Reverberação",xlim=c(0,120),ylim=c(0,1),space=1,axisnames = TRUE)
abline(h=0.4,lwd=4, col=2)
abline(h=0.6,lwd=4, col=2)
summary(TR)
sd(TR)
```

```
#STI
plot(STI, xlab="Salas de aula",ylab="STI" , main="Speech Transmission
Index",xlim=c(0,120),ylim=c(0,0.5),space=1,axisnames = TRUE)
abline(h=0.3,lwd=4, col=2)
abline(h=0.45,lwd=4, col=2)
abline(h=0,lwd=4, col=2)
summary(STI)
sd(STI)
```

```
#LAYOUT
is(LAYOUT)
```

```

factor(LAYOUT)
plot(factor(LAYOUT),xlab="Tipos de Layout",ylab="Quantidade de salas de aula" ,
main="Layout das Escolas")
summary(factor(LAYOUT))
dp(factor(LAYOUT))

```

Análise da relação entre os parâmetros - Teste t

```

dados = read.table(file="C:\\Users\\LAT\\Desktop\\Roberta\\testet.txt", header=TRUE,
dec=".")
dados
NPSpa <- c(dados$NPSpa)
NPSPn <- c(dados$NPSPn)
differences <- NPSpa-NPSPn
differences
summary(differences)
t.test(NPSpa, NPSPn)
qqnorm(differences)
qqline(differences)

```

Modelo de Regressão Beta

```
cor(dados)
```

```

dados = read.table(file="C:\\Users\\LAT\\Desktop\\Roberta\\dadosnovos2.txt",
header=TRUE, dec=".")
attach(dados)
library(boot)

```

```
##*Link LOGIT*##
```

```

a = betareg(formula = STI ~ NPS + REXT + TR + LAYOUT, data = dados, link =
"logit")
summary (a)

```

```
#Retirando REXT
```

```

a = betareg(formula = STI ~ NPS + TR + LAYOUT, data = dados, link = "logit")
summary (a)

```

```
#Retirando NPS
```

```

a = betareg(formula = STI ~ TR + LAYOUT, data = dados, link = "logit")
summary (a)

```

```
#Retirando LAYOUT
```

```

a = betareg(formula = STI ~ TR, data = dados, link = "logit")
summary (a)

```

```
#Adequação Global
```

```
s.a=summary(a)
```

```
s.a$deviance/s.a$dispersion
qchisq(0.95, 4)
```

```
#Validação do Modelo
#Valor Ajustado e Desvio residual
fit=fitted(a)
fit
plot(fit,STI)
STI
plot(a)
```

```
##*Link PROBIT*#
b = betareg(formula = STI ~ NPS + REXT + TR + LAYOUT, data = dados, link =
"probit")
summary (b)
```

```
#Retirando REXT
b = betareg(formula = STI ~ NPS + TR + LAYOUT, data = dados, link = "probit")
summary (b)
```

```
#Retirando NPS
b = betareg(formula = STI ~ TR + LAYOUT, data = dados, link = "probit")
summary (b)
```

```
#Retirando LAYOUT
b = betareg(formula = STI ~ TR, data = dados, link = "probit")
summary (b)
```

```
#Adequação Global
s.b=summary(b)
s.b$deviance/s.b$dispersion
qchisq(0.95, 7)
```

```
#Validação do Modelo
#Valor Ajustado e Desvio residual
fit=fitted(a)
fit
plot(fit,STI)
```

```
##*Link CLOGLOG*#
c = betareg(formula = STI ~ NPS + REXT + TR + LAYOUT, data = dados, link =
"cloglog")
summary (c)
```

```
#Retirando NPS
c = betareg(formula = STI ~ REXT + TR + LAYOUT, data = dados, link = "cloglog")
summary (c)
```

```
#Retirando REXT
c = betareg(formula = STI ~ TR + LAYOUT, data = dados, link = "cloglog")
```

```
summary (c)
```

```
#Retirando LAYOUT
```

```
a = betareg(formula = STI ~ TR, data = dados, link = "cloglog")
```

```
summary (a)
```

```
#Adequação Global
```

```
s.a=summary(a)
```

```
s.a$deviance/s.a$dispersion
```

```
qchisq(0.95, 3)
```

```
#Validação do Modelo
```

```
#Valor Ajustado e Desvio residual
```

```
fit=fitted(a)
```

```
fit
```

```
plot(fit,STI)
```

```
plot(a)
```

```
#Gráficos do Modelo
```

```
plot(a,which=1)
```

```
plot(a,which=2)
```

```
plot(a,which=3)
```

```
plot(a,which=4)
```

```
plot(a,which=5)
```

```
plot(a,which=6)
```

```
##*Link CAUCHIT*#
```

```
d= betareg(formula = STI ~ NPS + REXT + TR + LAYOUT, data = dados, link = "cauchit")
```

```
summary (d)
```

```
#Retirando LAYOUT
```

```
d= betareg(formula = STI ~ NPS + REXT + TR, data = dados, link = "cauchit")
```

```
summary (d)
```

```
#Retirando REXT
```

```
d= betareg(formula = STI ~ NPS + TR, data = dados, link = "cauchit")
```

```
summary (d)
```

```
#Retirando NPS
```

```
d= betareg(formula = STI ~ TR, data = dados, link = "cauchit")
```

```
summary (d)
```

```
##*Link LOG*#
```

```
e= betareg(formula = STI ~ NPS + REXT + TR + LAYOUT, data = dados, link = "log")
```

```
summary (e)
```

```
#Retirando LAYOUT
```

```
e= betareg(formula = STI ~ NPS + REXT + TR, data = dados, link = "log")
summary (e)
```

```
#Retirando NPS
```

```
e= betareg(formula = STI ~ REXT + TR, data = dados, link = "log")
summary (e)
```

```
#Retirando REXT
```

```
e= betareg(formula = STI ~ TR, data = dados, link = "log")
summary (e)
```

```
#Gráficos do Modelo
```

```
plot(a,which=1)
```

```
plot(b,which=1)
```

```
plot(a,which=2)
```

```
plot(b,which=2)
```

```
plot(a,which=3)
```

```
plot(b,which=3)
```

```
plot(a,which=4)
```

```
plot(b,which=4)
```

```
plot(a,which=5)
```

```
plot(b,which=5)
```

```
plot(a,which=6)
```

```
plot(b,which=6)
```

```
##*Link LOGLOG*#
```

```
f = betareg(formula = STI ~ NPS + REXT + TR + LAYOUT, data = dados, link =
"loglog")
summary (f)
```

```
#Retirando LAYOUT
```

```
f = betareg(formula = STI ~ NPS + REXT + TR, data = dados, link = "loglog")
summary (f)
```

```
#Retirando NPS
```

```
f = betareg(formula = STI ~ REXT + TR, data = dados, link = "loglog")
summary (f)
```

```
predict
```

```
dados
```

```
plot(STI,TR)
```

```
cor(dados)
```