



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Análise de níveis sonoros em salas de aula

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Sistemas de Produção

Autor

Bruno João Chaves Ferreira

Orientadores

Professor Doutor José Luís Ferreira Afonso

Professor Doutor Cristóvão Silva

Júri

Presidente **Professora Doutora Marta Cristina Cardoso de Oliveira**

Vogais **Professor Doutor António Rui de Almeida Figueiredo**

Coimbra, Setembro de 2010

Agradecimentos

É com muita satisfação que expresso aqui o mais profundo agradecimento a todos aqueles que tornaram possível a realização deste trabalho.

Antes de mais, gostaria de agradecer ao Professor Doutor José Luís Afonso e ao Professor Doutor Cristóvão Silva, orientadores desta tese, o apoio, incentivo e disponibilidade demonstradas em todas as fases de realização deste trabalho.

Gostaria ainda de agradecer à minha família, em especial aos meus pais Alfredo e Maria Celeste e ao meu irmão Filipe todo o apoio, força e motivação que me deram nesta fase tão árdua de final de curso.

Um muito obrigado a todos os meus amigos que me ajudaram, não só na realização deste trabalho, mas também ao longo do curso, agradeço o apoio e a disponibilidade para ajudar a resolver os problemas, a serenar os ânimos e, muitas vezes, os desabafos.

Queria também deixar um agradecimento especial ao meu amigo Dani que me ajudou muito na construção deste trabalho, mostrando sempre disponibilidade total.

Não quero deixar de manifestar também um agradecimento ao meu melhor amigo Vítor que, por diversas vezes, me ajudou a acalmar os ânimos, apoiou-me nos estudos, e contribuiu bastante para tomar as melhores opções na minha vida.

Obviamente, não me podia esquecer de agradecer à minha namorada Cláudia, que esteve sempre comigo durante toda a realização desta tese, abdicou dos seus problemas, muitas vezes, para me ajudar, tudo fez para que eu tivesse o melhor sucesso em todas as disciplinas, por ser a pessoa que é, e por tudo o que representa para mim.

Finalmente, um muito obrigado a todos os meus colegas e professores de curso, pois nesta longa caminhada trocámos muitos pareceres, dúvidas, conclusões, ajudámo-nos mutuamente como uma verdadeira equipa, como um grupo unido. Desejo a todos as maiores felicidades e que tenham muito sucesso pela vida fora.

Resumo

O ambiente escolar é um tema de especial importância para a formação intelectual, fisiológica e mesmo profissional do cidadão. Melhorar as condições deste espaço têm um carácter decisivo no crescimento de cada um de nós.

O presente estudo tem como objectivo avaliar e comparar os níveis de ruído de salas de aula do ensino básico com a legislação em vigor. Neste trabalho são colocadas algumas hipóteses que procuram relacionar os níveis de ruído com a hora do dia, com a duração das aulas, e com o dia da semana.

O ambiente em análise abrange dois anos de escolaridade, 5º e 6º anos, com alunos de idades compreendidas entre os 10 e os 13 anos.

Os resultados obtidos indicam que o nível sonoro equivalente presente nas salas de aula apresenta valores bastante elevados. Constata-se que os alunos do 5º ano de escolaridade são mais barulhentos que os seus colegas do 6º ano. Relativamente às hipóteses propostas verifica-se que existe uma relação da hora do dia, e do dia da semana com o nível de ruído. Comprova-se ainda que em períodos de noventa minutos de aulas, os primeiros 45 minutos são geralmente, mais ruidosos que os seguintes. Em ambas as salas de aula foram ultrapassados os limites impostos pela lei, pelo que, as condições acústicas proporcionam um mau ambiente aos alunos e professores. Enquanto que os primeiros podem sofrer, essencialmente, problemas de concentração e, conseqüentemente, falta de percepção sobre os conteúdos das aulas, os professores, por sua vez, têm que subir o seu tom de voz para elevar o discurso e, muitas vezes, têm de o repetir criando maior desgaste psicológico, bem como stress inerente.

Estes níveis de ruído altos não acontecem só devido ao comportamento e à forma com que a aula é dada, dependem muito também do material constituinte das salas, da geometria, dos materiais de construção e do ambiente sonoro à volta destas.

Palavras-chave: Ambiente escolar, nível sonoro contínuo equivalente, Ruído, acústica

Abstract

The school environment is a topic of special importance in regards to the intellectual, physical and professional formation of each citizen. Bettering its conditions has a decisive role in improving our society's growth.

The present study seeks to evaluate and compare noise levels from two class rooms in a primary school with current legislation. Hypothesis are brought forth that seek to relate noise levels with time of day, duration of classes and the day of the week. The analyzed environment covers 2 schooling years, the fifth and sixth grade, with student ages ranging from 10 to 13 years.

Obtained results indicate that the sound level present in class rooms is very high. It was concluded that fifth graders are noisier than their sixth grade counterparts. Concerning the proposed hypotheses it was verified that there is a relationship between both time of day and weekday, with recorded noise level. Also, in ninety minutes classes, the first 45 minutes are, in general, more noisy than the second.

In both studied class rooms, noise levels went beyond the stipulated limits imposed by law, from whence it can be withdrawn that acoustical conditions are prejudicial to a good environment for both students and teachers. The former may suffer from concentration problems, thus diminishing their ability to properly understand lectures, whilst the latter must raise their voice, and quite often, repeat information, adding up to greater psychological strain and stress.

Noise levels are not just a consequence of behavior issues and how lectures are given, they also incur from materials present in class rooms, construction materials, their architecture and surrounding environment..

Keywords School Environment, Equivalent Continuous Noise Level, Noise, Acoustics.

Índice

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	vii
Abreviaturas.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento do problema	1
1.2. O Ambiente Escolar	3
1.3. Objectivos	5
1.4. Estrutura.....	6
2. Fundamentação teórica	7
2.1. Definições de Som e Ruído	7
2.2. Parâmetros básicos do som	8
2.3. Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{eq} e $M_{ax}P$	11
2.4. Características Fisiológicas do som	12
2.5. Fontes de Ruído	14
2.5.1. Tipos de fontes de ruído	14
2.6. Classificação do ruído.....	15
2.7. Propagação do ruído	15
2.8. Avaliação Acústica de Salas de Aula.....	18
2.8.1. Relação sinal e ruído (S-R).....	18
2.8.2. Ruído de fundo (RF).....	20
2.8.3. Reverberação	20
2.8.4. Inteligibilidade da fala	26
2.8.5. Tempo de Decaimento Inicial (EDT)	28
2.8.6. Definição (D50).....	28
2.8.7. Índice de Transmissão da Fala (STI).....	29
2.8.8. Percentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons)	30
2.9. Ouvido Humano.....	30
2.9.1. Ouvido Externo	32
2.9.2. Ouvido Médio.....	32
2.9.3. Ouvido Interno.....	32
2.9.4. Mecanismo de protecção do ouvido	32
2.10. Efeitos do Ruído no ser Humano	33
2.11. Legislação.....	36
3. Procedimento experimental	39
3.1. Caracterização do local em estudo.....	39
3.2. Material utilizado	40
3.3. Fases do Procedimento Experimental.....	40
3.3.1. Configuração dos equipamentos.....	40
3.3.2. Instalação dos equipamentos	42
3.3.3. Recolha de Dados	42
3.3.4. Filtragem de dados	42
3.4. Tratamento estatístico	43

3.4.1. Estatística Descritiva	43
3.4.2. Estatística Inferencial	44
4. Demonstração de resultados	46
4.1. Sala A.....	46
4.2. Sala B.....	51
4.3. Comparação das Salas A e B	55
4.4. Hipóteses em análise.....	58
5. conclusões.....	62
6. referências bibliográficas.....	65
Anexo 1 – Conceitos da Legislação	69
Anexo 2-Tabelas de resultados.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas isofónicas	10
Figura 2 – Curvas de Ponderação (Adaptado de EVEREST (2001,p.39)	11
Figura 3 – Comparação entre ondas de altas e baixas frequências.....	13
Figura 4 –Esquema de uma fonte pontual	14
Figura 5 – Situação típica de uma sala de aula (Adaptado de Brüel & Kjaer (2005, p.13). 16	
Figura 6 - Relação entre a voz e o ruído de fundo numa sala de aula - Fonte: Guckelberger (2003)	18
Figura 7 - Níveis de ruído (em <i>dB A</i>) indicados para conforto acústico em.....	19
Figura 8 – Valores máximos de ruído de fundo para salas de aula	20
Figura 9 – Reverberação do som numa sala de aula.....	21
Figura 10 – Tempo de reverberação	22
Figura 11 – Tempos óptimos de reverberação - Fonte: Silva (2002)	22
Figura 12 – Valores e qualidade da Inteligibilidade.....	26
Figura 13 – Inteligibilidade da fala em função da relação S-R	26
Figura 14 – Inteligibilidade da fala para diferentes TR.....	27
Figura 15 – Estrutura de um campo sonoro, e os primeiros 50 <i>m_s</i>	29
Figura 16 – Relação do STI e a inteligibilidade da fala	30
Figura 17 – Correspondência entre a inteligibilidade e os parâmetros STI e %ALCons....	30
Figura 18 – Descrição do ouvido humano.....	31
Figura 19 – Zonas do corpo humano afectadas pelo ruído.....	35
Figura 20 – Correspondência de intensidade de ruído, com os efeitos no Homem	35
Figura 21 – Dosímetro Brüel & Kjaer.	41
Figura 22 – Esquema da ANOVA.....	45

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes de Absorção Sonora de materiais usados em edifícios escolares..	25
Tabela 2 – Locais de emissão, recepção (Fonte: DL nº 96/2008 artigo 7).....	38
Tabela 3. Medidas de tendência central e de dispersão do L_{eq}	47
Tabela 4 - Medidas de tendência central e de dispersão do L_{eq}	52
Tabela 5 – Analise do nível de variância na duração da aula.....	59
Tabela 6 – Analise do nível de variância nas horas do dia.....	59
Tabela 7 - Analise do nível de variância nas horas do dia	60
Tabela 8 - Analise do nível de variância no dia da semana.....	60
Tabela 9 - Analise do nível de variância no dia da semana.....	61

ABREVIATURAS

ANSI – American National Standards Institute

ANOVA – Analysis of Variance

OMS – Organização Mundial de Saúde

EDT – Early Decay Time

L_{eq} – Nível Sonoro Contínuo Equivalente

$M_{ax}P$ – Pico do Nível de Pressão Sonora

NBR – Norma Brasileira Regulamentar

NP – Norma Portuguesa

NPS – Nível de Pressão Sonora

PAIR – Perda Auditiva Induzida por Ruído

PTS – Permanent Threshold Shift

RF – Ruído de Fundo

RGR – Regulamento Geral de Ruído

RRAE – Regulamento de Requisitos Acústicos de Edifícios

SI – Sistema Internacional

S-R – Relação Sinal-Ruído

STI – Speech Transmission Index

TR – Tempo de Reverberação

TTS – Temporary Threshold Shift

WHO – World Health Organization

%ALcons – Percentage Articulation Loss of consonants

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do problema

A partir da Revolução Industrial, com o desenvolvimento do capitalismo, a natureza vai, pouco a pouco, deixando de existir para dar lugar a um meio ambiente transformado, modificado e produzido pela sociedade moderna. O século XX testemunhou o aumento contínuo e difundido da industrialização por todo o mundo. Acompanhando este desenvolvimento, observou-se o aumento da exposição ao ruído tanto na quantidade de indivíduos expostos quanto aos níveis de ruído, como sinergismos com agentes químicos, físicos e biológicos, potencializando os possíveis danos no sistema auditivo e em todos os outros alvos desta exposição. Desta forma, hoje o ser humano não está só exposto aos fenómenos naturais como o som dos ventos, dos trovões e das águas. Paralelo ao desenvolvimento tecnológico surgiu o ruído, fenómeno a que estamos expostos e com o qual temos de aprender a conviver, pois não se vislumbra a possibilidade das nossas vidas (SILVA et al, 2003).

A poluição resultante de actividade que, directa ou indirectamente, prejudique a saúde, a segurança e o bem-estar da população é uma forma de degradação da qualidade ambiental. Neste contexto, a poluição sonora oriunda das diversas actividades existentes nos centros urbanos, tais como bares, indústrias, tráfego de veículos, obras, entre outros, constitui uma das principais fontes de degradação da qualidade ambiental.

Segundo PIMENTEL - SOUZA (1992:24) “ a poluição química do ar, da água e da terra deixa traços visíveis de contaminação, já a sonora mesmo em níveis exagerados, produz efeitos imediatos moderados. Os efeitos mais graves vão-se desenvolvendo com o tempo, como a surdez, que não basta ser uma perda de saúde gravíssima, mas é ainda muitas vezes acompanhada por desequilíbrios psíquicos e doenças físicas degenerativas”. De acordo com a OMS (1980), a poluição sonora é a terceira causa entre os principais problemas ambientais do planeta, sendo ultrapassada pela poluição do ar e água. Conforme a *Public Health Agency of América* (Agência de Saúde dos EUA), o zumbido é o terceiro

pior problema de saúde no mundo. Segundo esta agência, o desconforto causado pelo zumbido pode levar à surdez, à loucura e até ao suicídio.

Além de gerar problemas de saúde pode criar, muitas vezes, problemas de carácter social com desfechos violentos que podem incluir desde actos de agressão física até a morte.

Um estudo português cita que mais de 60 % da população portuguesa vive com níveis de ruído acima dos recomendados pela OMS, em que 19% dos portugueses estão mesmo expostos ao ruído incomodativo (AZEVEDO E LIMA, 2002).

Segundo BRUEL & KJAER (2001), o tráfego de veículos é a principal fonte de ruído na maior parte dos países e a maior causa de incómodos. O ruído urbano provoca distúrbios no sono, interfere na comunicação verbal, alterações irreversíveis no sistema auditivo, efeitos não auditivos no organismo e efeitos colaterais, geralmente com consequências também de natureza económica. Na actividade cerebral, a capacidade do organismo humano se ajustar a diversas formas de ruído deve-se à sua grande elasticidade e capacidade de adaptação aos estímulos do ambiente.

Por ser proveniente de uma reacção psicológica, o ruído afecta as pessoas de maneiras diferentes, nem mesmo durante o repouso, o homem fica livre da acção do ruído que age sobre o subconsciente e o sistema nervoso, piorando a sua saúde (MORAES E REGAZZI, 2002).

O ruído afecta de forma diferente os vários sectores da população. Enquanto para os mais jovens este prejudica essencialmente a concentração, para os mais idosos acarreta patologias cardiovasculares e respiratórias.

De acordo com um relatório da WHO LARES (2004), o ruído aparece como uma nova ameaça do século XXI, que afecta de modo diferente as crianças, os adultos e os idosos. Através de estudos realizados, os adultos estão sujeitos a riscos no sistema cardiovascular e respiratório. Os idosos são os mais resistentes ao ruído, mas mais vulneráveis a acidentes vasculares cerebrais e, por outro lado, nas crianças afecta principalmente o sistema respiratório.

O crescimento da poluição sonora afecta não só as sociedades actuais mas também, adversamente, as gerações futuras pela degradação dos ambientes residenciais e educacionais.

A cada dia torna-se maior a urgência de uma consciencialização em favor da diminuição dos altos níveis de ruído nos mais diversos ambientes ocupados pelo homem.

1.2. O Ambiente Escolar

O ambiente escolar, destinado à produção cultural e formação do cidadão pode tornar-se num ambiente ruidoso pelas actividades de alunos e professores. Uma vez que o ambiente escolar foi desenvolvido para maximizar as potencialidades humanas, é imprescindível que este esteja adequado à finalidade a que se destina. Tem-se observado que a sala de aula, que nem sempre é construída em função de uma boa acústica ou da baixa produção de ruído, também produz ruídos internos, como o arrastar de cadeiras, as conversas paralelas, os ventiladores ligados, entre outros. Tanto o ruído interno produzido na sala de aula, como o ruído externo (ruído nos corredores, sistemas ventilação exteriores), podem competir com a fala do professor, mascarando algumas palavras e tornando ininteligível o discurso.

NETO (2001) enfatizou que as escolas são mal planeadas, funcionam como verdadeiras caixas de reverberação aos ruídos produzidos do lado de fora, pelo tráfego intenso e também para o próprio ruído produzido internamente pelos alunos. CELANI et al (1999) defende que no ambiente escolar o ruído não é apenas um incómodo, mas interfere no rendimento das actividades de ensino. ENIZ e GARAVELLI (2006) afirmam que o ambiente escolar destina-se à produção cultural e formação do cidadão e que pode, por vezes, tornar-se num ambiente ruidoso pela própria actividade de alunos e professores. LUBMAN e SUTHERLAND (2003) afirmam que a falta de boa acústica na sala de aula pode explicar a dificuldade com a lição de casa de alguns estudantes e o desgaste físico dos professores.

As edificações não evitam a propagação dos sons nem mesmo internamente e não levam em consideração a qualidade acústica interna das salas de aula. A questão acústica tornou-se mais importante porque o número de fontes produtoras de ruído é cada vez maior e as suas consequências para o homem são cada vez mais prejudiciais. Não são raros os casos em que professores são obrigados a afastar-se do exercício profissional ou até mesmo a diminuir a carga de trabalho para recuperar a capacidade de fala.

Numa escola, as crianças em processo de aquisição de linguagem e escrita são particularmente as mais vulneráveis aos efeitos da poluição sonora. Num ambiente ruidoso são as mais prejudicadas, pois estão na fase de aquisição de vocabulário e leitura e nem sempre compreendem, com exactidão, as palavras proferidas pelos professores. Este distúrbio agrava-se quando se tem em conta que as crianças utilizam 45% a 60% do dia escolar envolvidas no processo de atenção (BUTLER, 1975).

DAYE (1996), comenta que num estudo realizado num Centro de Controle e Prevenção de Doenças foram testadas crianças dos 6 aos 19 anos, onde 15% apresentaram perda de audição, devido a ruído de ventiladores, sistemas de aquecimento e método de ensino utilizado nas aulas. Cita também que estudantes com audição normal ouvem 71% da fala dos professores, enquanto alunos com pequenos problemas de audição ouvem apenas 48% do que é falado. Os próprios costumes do estudante de realizar as tarefas escolares em frente à televisão ou mesmo utilizando auscultadores nos ouvidos durante a realização das mesmas, pode interferir na percepção do conhecimento.

Numa sala ruidosa, o professor tende a superar os ruídos competitivos elevando a intensidade da voz. Isso caracteriza o “Efeito Lombard”, que corresponde a essa tendência onde quem fala mantém uma relação constante entre o nível da sua fala e o ruído (DREOSSI, 2004:42). Com o passar dos anos, o professor começa a descobrir problemas como a rouquidão, dores nas pregas vocais e na laringe, a perda da capacidade normal da fala, além de outros problemas indirectos, como a perda da capacidade de concentração dos alunos por problemas no entendimento, efeitos colaterais diversos como dores de cabeça, efeitos psicológicos pela incapacidade de exercer a função de maneira adequada, entre outros.

É preciso levar em conta factores como localização e arquitectura, que podem aumentar ou diminuir a poluição sonora nas escolas, pois muitas delas ficam perto de avenidas movimentadas ou vias de circulação de veículos, com as janelas viradas para a via, sem barreiras de isolamento. Em várias salas de aula nos Estados Unidos, 25% da informação pode ser perdida por causa do ruído e da reverberação (EVANS e MAXWELL, 2000). É necessário, portanto, que o ruído seja aferido e que as influências das condições acústicas e o desempenho vocal desses profissionais também sejam avaliados. Assim, é fundamental que o ruído esteja controlado no ambiente de trabalho. Na acústica de salas de

aula é importante conhecer o comportamento dos sons para eliminar os ruídos que interferem na percepção da fala, promovendo um ambiente apropriado para o aprendizado.

Relativamente ao nível sonoro, o ruído deve ser tão baixo quanto possível. Para isso, devem-se utilizar equipamentos com uma mínima emissão sonora, assim como melhoria contínua da acústica na sala de trabalho.

1.3. Objectivos

A presente dissertação de mestrado tem como objectivo principal contribuir significativamente para o estudo do ruído em ambiente escolar, especificamente, do ensino básico. Para tal foram efectuadas medições dos níveis de ruído com vista a obter conclusões que permitissem adquirir alguns conhecimentos nesta matéria. Assim sendo, objectiva-se formular algumas medidas de modo a elevar as condições acústicas das salas de aula, melhorando assim, a inteligibilidade do discurso.

Objectivos Específicos

- Efectuar medições dos níveis de ruído em duas salas de aula;
- Comparar os valores do *Leq* médio registados nas salas de aula, com os valores estipulados na legislação em vigor;
- Verificar se existe influência da duração, da hora da aula e do dia da semana, nos níveis de ruído;
- Sugerir medidas correctivas para melhorar o conforto acústico e a inteligibilidade do discurso nas salas de aula;

1.4. Estrutura

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos, cuja descrição é de seguida apresentada:

O Capítulo 1, “Introdução” introduz o tema, contextualizando o ruído no ambiente escolar, na actualidade. Define também os objectivos gerais e específicos, bem como uma descrição pormenorizada do conteúdo de cada capítulo;

O Capítulo 2, “Fundamentação teórica” caracteriza os parâmetros do som, identifica as fontes e os tipos de ruído, descreve a propagação do som e identifica os efeitos do ruído no Homem;

O Capítulo 3, “Procedimento experimental” descreve todo o procedimento experimental, desde o material utilizado ao método adoptado para a realização da actividade experimental;

O Capítulo 4, “Demonstração de resultados” apresenta todos os resultados obtidos depois da filtragem e do tratamento estatístico. Neste capítulo, foram apresentados os resultados obtidos em cada sala, bem como comparados os valores entre salas distintas.

O Capítulo 5, “Conclusões” elabora uma síntese de todo o trabalho efectuado com base na recolha bibliográfica assim como nos resultados alcançados. Neste capítulo, é desenvolvida uma crítica de todas as observações e sugeridas algumas medidas preventivas para melhorar as condições acústicas nas salas de aula.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Definições de Som e Ruído

Existem várias definições de ruído na literatura por este ser tão subjectivo, no entanto o ruído é apenas um tipo de som. O estudo do som é desenvolvido pela área da acústica que se encontra dividida em duas partes: acústica física, que estuda a parte material do fenómeno sonoro e psico-acústica, que trata da percepção do fenómeno através dos sentidos.

O som pode ser descrito como: a vibração mecânica de um corpo, produz deslocamentos oscilatórios das partículas do meio circundante, e se estas oscilações se propagarem até aos ouvidos, provocarão a oscilação dos tímpanos, e por um mecanismo interno de transmissão, estimularão os nervos auditivos que, por sua vez, transmitem ao cérebro uma sensação percebida como um som. De acordo com GERGES (1992), o som é caracterizado por flutuações de pressão num meio compressível que se propagam numa faixa de frequência capaz de sensibilizar o aparelho auditivo. Podemos dizer que o som é caracterizado por uma única frequência e amplitude¹. Se, por outro lado, tivermos várias frequências e amplitudes a gerar oscilações tem-se o que é chamado de Ruído.

Para IIDA (2005) o ruído é um som indesejável, no entanto para um indivíduo pode ser indesejável, mas não para outro. A sensação que o ruído oferece, agradável ou desagradável, é subjectiva e depende da susceptibilidade individual. Para BISTAFA (2006), o ruído pode ser como um som sem harmonia e que tem uma conotação negativa.

O volume do som não precisa de ser alto para ser incómodo e mesmo a música, que não é considerada um ruído, por ser um som harmónico pode, em determinadas condições, provocar desconforto na audição.

Cada ser humano refere-se a um ruído competidor de diversas formas. Enquanto um aluno numa sala de aula não se apercebe das buzinelas dos carros na rua, outro já terá que se chegar mais à frente para não ser incomodado e outros podem,

¹ No entanto, o ar ou qualquer meio elástico pode vibrar segundo várias frequências

simplesmente, desinteressar-se dos assuntos, pois não conseguem perceber as palavras do professor.

É necessário ter um período de reflexão e sensibilizarmos as pessoas para que, nos locais de aprendizagem ou de concentração elevada, em que o papel do som seja determinante, vejam a realidade e todas as consequências que o ruído lhes poderá trazer, não só em termos físicos mas também no longo e complexo processo de aprendizagem.

2.2. Parâmetros básicos do som

Os parâmetros básicos do som são a pressão sonora (p), potência sonora (P) e a intensidade sonora (I).

A fonte sonora produz uma determinada quantidade de energia sonora por unidade de tempo, ou seja tem uma determinada potência sonora. A unidade no SI da potência é o W que equivale a $1 J/s$. A potência sonora permite avaliar a energia sonora que a fonte produz independentemente da envolvente acústica.

A propagação de energia sonora dá-se de uma forma radial, e transmite-se às moléculas do meio. As partículas irão sofrer deslocamentos em relação às suas posições de equilíbrio causando flutuações de pressão. Como essas flutuações ocorrem devido à propagação de um som, denominam-se de pressão sonora.

A pressão sonora (p) constitui a maneira mais habitual de expressar a magnitude de um campo sonoro, pois pode ser medida em qualquer ponto de um local. Além disso, esta pressão depende da quantidade de energia absorvida e da quantidade de energia transmitida para o exterior. A unidade usual para a pressão sonora é o Newton por metro quadrado (N/m^2), ou Pascal (Pa). Um outro parâmetro para expressar a magnitude de um campo sonoro é a Intensidade sonora I . Esta corresponde ao fluxo de energia que atravessa um elemento de superfície numa determinada direcção. Traduz, portanto, a potência sonora por unidade de área. A intensidade sonora pode também ser definida como uma média no tempo da quantidade de energia que é transportada pela onda, por unidade de área ao longo do tempo.”

Esta relaciona-se com a potência e a pressão da seguinte forma:

$$I = \text{Pressão} \times \text{velocidade} \Leftrightarrow \frac{\text{Força}}{\text{Área}} \times \frac{\text{Distância}}{\text{Tempo}} \Leftrightarrow \frac{\text{Energia}}{\text{Área} \times \text{Tempo}}$$

$$\frac{\text{Potência}}{\text{Área}} = \frac{P}{4\pi d^2} = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad (1)$$

Em que I é intensidade sonora em W/m^2 , P a Potência sonora em W ; p – Pressão sonora em Pa ; c – velocidade do som em m/s ; ρ – Densidade do ar em Kg/m^3 ; d – distância à fonte sonora em m .

Constata-se que a potência sonora é proporcional à intensidade sonora e ao quadrado da pressão sonora. Obtendo qualquer uma destas é possível determinar a potência sonora fazendo algumas correcções relacionadas com a envolvente acústica, no caso da pressão, ou com a superfície de medição, no caso da intensidade. Em termos de importância, todas estas grandezas são fundamentais, no que diz respeito ao estudo completo do ruído: a potência sonora classifica, em termos quantitativos, as fontes de ruído; a intensidade sonora permite localizar e qualificar as fontes de ruído sendo imprescindível para o estudo de soluções e para o controlo de ruído; e a pressão sonora é o parâmetro mais relevante para a avaliação de situações de incomodidade ou de risco do trauma auditivo.

A gama de pressões sonoras audíveis pelo ser humano varia entre o limiar de audição e o limiar da dor, e situa-se respectivamente entre os $20 \mu Pa$ (que corresponde ao som mais fraco que em média se pode ouvir) e os $200 Pa$ (o valor máximo que o ouvido humano, em média, pode suportar).

Se se quiser traduzir a resposta do ouvido humano aos estímulos sonoros através de uma função matemática, pode dizer-se que o ouvido não responde de uma forma linear a esses estímulos, mas de uma forma próxima da escala logarítmica. Este facto, aliado ao facto de não ser prático a aplicação directa de escalas lineares à gama de frequências audíveis (escala muito grande entre 20×10^{-6} , e $100 Pa$), conduziu à utilização de uma escala logarítmica. O logaritmo da relação entre os quadrados da pressão sonora medida e a de referência designa-se por *bel*. Da multiplicação destes valores por 10 resulta a grandeza decibel (*dB*), sendo esta a grandeza usada para definir a potência sonora (entre 0 e 140 *dB*).

A gama audível do ouvido humano está compreendida entre 20 Hz e os 20 KHz , mas, a sensibilidade do ouvido humano varia em função do conteúdo de frequências do som. A sensibilidade máxima acontece à volta dos 4 KHz . Na Figura 1 estão representadas as curvas que indicam a igual sensibilidade auditiva, ou seja, as curvas isofónicas²

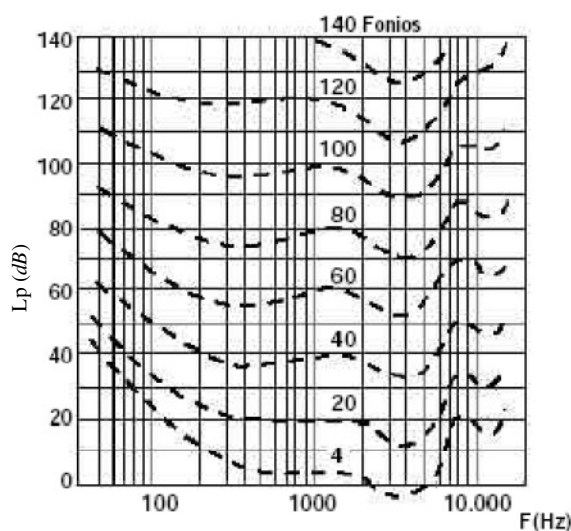


Figura 1 - Curvas isofónicas

A resposta do ouvido do Homem às variações de frequência também não é linear, pelo que a representação da frequência surge em termos de bandas de oitava. O ouvido humano interpreta a diferença entre um som de 1000 Hz e um de 500 Hz próxima da diferença entre um som de 2000 Hz e de um de 4000 Hz . Desta forma, as bandas por oitava são estabelecidas de modo que o limite superior da frequência seja, aproximadamente, o dobro da frequência limite inferior.

Para avaliar a resposta do ouvido humano, em termos da interpretação que este faz do ruído, são usadas as designadas curvas ou malhas de ponderação A, B, C e D. A malha de ponderação mais usada é a malha de ponderação A que segue a isofónica de 40 (pressão baixa), podendo as outras curvas ser usadas de acordo com os níveis de pressão (B para pressões moderadas e C para pressões elevadas). Quando o nível de pressão sonora é medido com a correcção de curva “A”, é denominado $dB(A)$ e denominado de LA .

² Fonios – significa o valor de Leq para uma frequência de 1 KHz

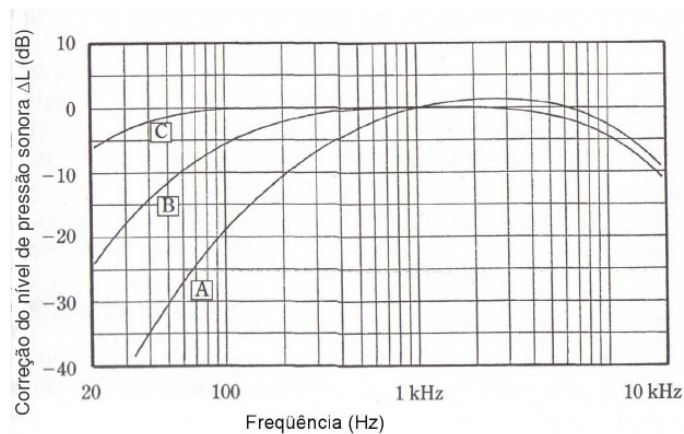


Figura 2 – Curvas de Ponderação (Adaptado de EVEREST (2001,p.39))

Através da Figura 2, observa-se que nas baixas frequências a curva de ponderação “A” atenua de forma significativa. A atenuação vai diminuindo à medida que se aproxima dos 1.000 Hz, onde o valor na curva "A" é zero.

2.3. Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{eq} e $M_{ax}P$

O ruído não é constante, é variável ao longo do tempo, tendo alguns valores críticos, quer máximos (picos), quer mínimos (quebras). Uma vez que se tornava inviável tratar o sinal com uma dispersão grande de valores, houve necessidade de se desenvolver uma grandeza média que se denomina nível de ruído equivalente – L_{eq} . Este parâmetro traduz o nível sonoro de um som contínuo equivalente que contem a mesma energia da globalidade do ruído, no mesmo intervalo de tempo medido. É dado pela seguinte expressão:

$$L_G = 10 \cdot \log \frac{1}{T} \left(\int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right) \quad (2)$$

Em que o T representa o período de medição, o $p(t)$ a pressão instantânea e o p_0 , a pressão sonora de referencia $2 \times 10^5 Pa$.

Um outro parâmetro de especial importância na avaliação de risco de trauma auditivo particularmente se o ruído for do tipo impulsivo é o pico de nível da pressão sonora, designado por *MaxP*. Quantifica para um dado instante a máxima pressão registada.

É um parâmetro que aparecendo normalmente no ruído impulsivo não deixa o ouvido activar o mecanismo de protecção, podendo causar danos irreparáveis.

2.4. Características Fisiológicas do som

Os sons têm, basicamente, quatro qualidades: altura, duração, intensidade e timbre.

Os sons simples distinguem-se uns dos outros por duas características, intensidade e altura; os sons compostos, além daquelas, diferenciam-se pelo timbre. Os sons da natureza são de uma essência mais complexa.

O número de ciclos na unidade de tempo é denominado frequência (f). A unidade de medida da frequência no Sistema Internacional (SI) é o Hertz (Hz). As frequências mais altas, com um maior número de oscilações no tempo correspondem aos sons mais agudos, enquanto que as mais baixas, com menor número de oscilações correspondem aos sons mais graves. Desta forma, a frequência permite-nos distinguir se um som é grave ou agudo.

À capacidade que o som tem de ser mais grave ou agudo denomina-se por altura.

Segundo RUSSO e BEHLAU (1993), em indivíduos adultos otologicamente normais, o ouvido humano detecta sons dentro de uma faixa audível entre as frequências de 20 Hz e 20.000 Hz . Para frequências sonoras com valores abaixo de 20 Hz , o som é classificado como “infra-som” e acima de 20.000 Hz , como “ultra-som (METHA; JOHNSON; ROCAFORT, 1999). Na Figura 3, dá-se um exemplo de dois sons com frequências diferentes:

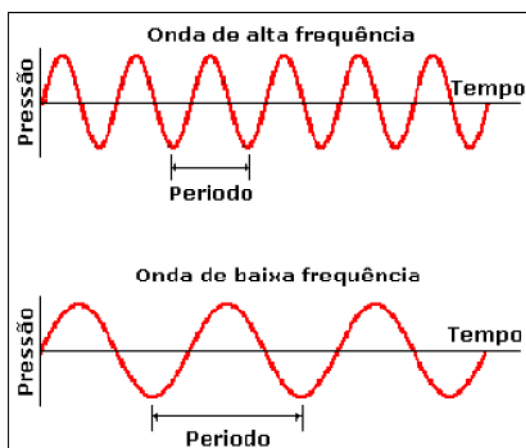


Figura 3 – Comparação entre ondas de altas e baixas frequências

Para níveis baixos de pressão sonora, o ouvido é muito insensível a frequências baixas, ou seja, um nível de pressão sonora de um som grave tem de ser muito mais elevado do que o de um som de frequência média para que ambos produzam a mesma sonoridade.

Á capacidade que o som tem de ser mais forte ou fraco denomina-se por intensidade, esta relaciona-se com a amplitude. Quanto maior for a intensidade das ondas, maior será a sua amplitude e, por conseguinte, o som será mais forte.

O Timbre é a qualidade de diferenciar instrumentos e vozes com as mesmas características. Segundo (RISSET e WESSEL, 1999) o timbre é um atributo do sentido auditivo em termos do qual “o ouvinte pode julgar que dois sons similarmente apresentados com a mesma intensidade e altura, são dissimilares”.

A Duração é a capacidade que o som tem de ser mais longo ou curto.

Se uma vibração for produzida por uma única frequência tem-se um “tom puro” porém, a maioria dos sons são complexos, compostos de pressões que variam ao longo do tempo (EGAN, 1988).

Relativamente aos sons complexos, as frequências são divididas em secções denominadas bandas de frequência.

2.5. Fontes de Ruído

2.5.1. Tipos de fontes de ruído

Fonte pontual:

Quando uma fonte sonora propaga energia de uma forma radial, dá-se o nome de fonte pontual e é caracterizada por uma diminuição da pressão sonora para metade, quando a distância à fonte aumenta para o dobro. A Figura 4 Ilustra um esquema da propagação do som numa fonte pontual:

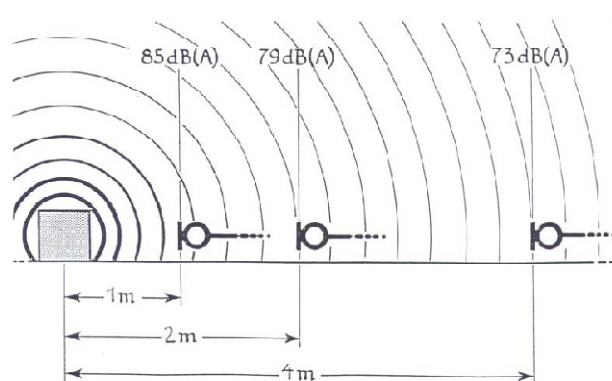


Figura 4 –Esquema de uma fonte pontual

Fonte Linear:

Nesta fonte a propagação sonora dá-se num plano perpendicular a fonte. Aumentando a distância à fonte para o dobro, a pressão sonora apenas diminui de 3 dB devido às características da propagação sonora. Como exemplo tem-se uma estrada de tráfego intenso.

Fonte Plana:

A menos usual de todas as fontes é a fonte plana. Um exemplo disso, é um pistão que trabalha no interior de um tubo, dando origem à propagação de ondas planas. Desde que não haja dissipação de energia sonora através das paredes do tubo, o fluxo de energia sonora ao longo do tubo é constante e, portanto, a pressão sonora não depende da distância à fonte, apresentando o mesmo valor em qualquer ponto.

2.6. Classificação do ruído

Os ruídos podem ser classificados em contínuo, intermitente ou de impacto. O ruído contínuo é aquele cujo nível de pressão sonora varia 3 *dB* durante um período longo (mais de 15 minutos) de observação; o ruído intermitente é aquele cujo nível de pressão sonora varia de até 3 *dB* em períodos curtos (menor que 15 minutos e superior a 0,2 s); e o ruído de impacto pode ser definido como picos de energia acústica de duração inferior a 1s, em intervalos superiores a 1s.

2.7. Propagação do ruído

Quando uma onda sonora encontra um obstáculo, parte da energia é reflectida, parte é absorvida e outra parte é transmitida. A parte reflectida tem um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência e a parte absorvida é consumida em deformações elásticas do material. Assim, quanto mais rígido, denso e de superfície lisa for o obstáculo, maior será a parcela reflectida da onda. Caso contrário, maior será a parcela absorvida da onda. No interior de uma sala, inicialmente, o som propaga-se chocando com as paredes limites e/ou com outros obstáculos no seu percurso. O som emitido por uma fonte pode atingir um ouvinte directamente (som directo) ou após ter chocado com as paredes, o piso e o tecto do recinto, ou seja, após reflectir pelas superfícies (som reflectido ou reverberante). O som directo e o reflectido podem ou não atingir o ouvinte, simultaneamente. Devido a essas reflexões, o nível sonoro na sala é superior ao nível sonoro correspondente no campo livre.

Numa sala com superfícies reflectoras, toda a energia sonora será reflectida e, portanto, será criado um campo sonoro uniforme. Uma sala com estas condições é designada por reverberante.

Por outro lado, se uma sala tiver superfícies muito absorventes, em que quase toda a energia radiante da fonte seja absorvida, esta é designada por anecóicas.

A maioria das salas caracteriza-se por modelos intermédios, não sendo reverberantes nem anecóicas.

No encontro de obstáculos, como as paredes da sala, as ondas dividem-se de acordo com o meio de propagação, resultando parcelas de som reflectido, som transmitido e som absorvido.

Segundo ALVARENGA (2003), para o estudo da acústica em ambientes fechados é necessário observar que a distribuição sonora gera dois tipos de campos sonoros: um directo e outro indirecto (reflectido ou reverberante). A Figura 5 exemplifica uma situação típica em sala de aula, onde há um orador a emitir som para os demais receptores.

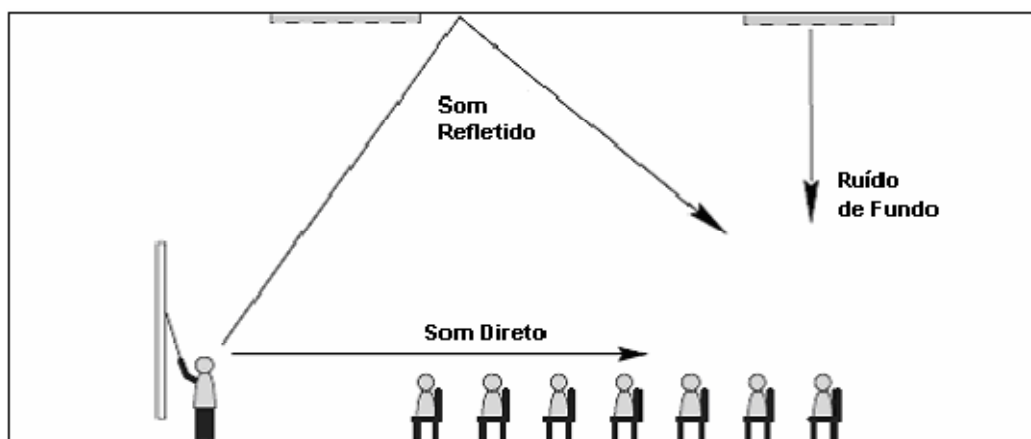


Figura 5 – Situação típica de uma sala de aula (Adaptado de Brüel & Kjaer (2005, p.13).

Como consequência, durante esta propagação são produzidos os seguintes fenómenos sonoros: transmissão, reflexão, difusão (ou reflexão difusa), difracção e absorção, descritos a seguir:

Reflexão

O fenómeno da reflexão consiste na mudança de direcção da propagação da energia sonora, através do retorno da energia incidente em direcção à região de onde é originada, após entrar em contacto com uma superfície. A reflexão pode ser especular ou difusa. O ouvido humano só consegue distinguir dois sons que chegam a ele com um intervalo de tempo superior a um décimo de segundo (0.1 s). Se nalgum ponto da sala a diferença de caminhos entre o som directo e o reflectido for muito grande, a audição será confusa. A reflexão numa superfície é directamente proporcional à dureza do material.

Paredes de cimento, mármore, azulejos, vidro, entre outros, reflectem quase 100 % do som incidente. Um ambiente que contenha paredes com muita reflexão sonora, terá uma péssima inteligibilidade da linguagem. É o que acontece, geralmente, com grandes igrejas, salões de clubes, etc.

Absorção

O fenómeno da absorção ocorre quando a superfície absorve a energia das ondas sonoras incidentes na superfície. A quantificação de absorção sonora é obtida pelo coeficiente (α). Este é a relação entre a intensidade sonora absorvida por uma superfície (I_a) e uma intensidade sonora qualquer (I_o) que atinge esta superfície. A absorção depende das propriedades do material e da frequência sonora.

Transmissão

Transmissão é a propriedade sonora que permite que o som passe de um lado para o outro de uma superfície, continuando a sua propagação. Fisicamente, o fenómeno tem as seguintes características: a onda sonora, ao atingir uma superfície, faz com que ela vibre, transformando-a numa fonte sonora. Assim, a superfície vibrante passa a gerar som na sua outra face, portanto, quanto mais rígida e densa for a superfície, menor será a energia transmitida.

Difusão

A difusão consiste na reflexão do som em várias direcções, espalhando as ondas sonoras por todo o ambiente num efeito de dispersão.

Difracção

A difracção é a propriedade de contornar obstáculos. A onda sonora continua a sua propagação ao redor de obstáculos. A difracção depende do comprimento de onda. Quando este é elevado comparativamente com o comprimento de onda da luz, a difracção do som é alta.

Refracção

A refração do som dá-se quando o som muda de meio de propagação.

Estes fenómenos podem ocorrer simultaneamente ou seja, uma onda de som pode ser reflectida e ao mesmo tempo absorvida por uma parede.

2.8. Avaliação Acústica de Salas de Aula

Para a avaliação acústica de salas de aula destacam-se os parâmetros acústicos: a relação entre Sinal e Ruído (S-R); o tempo de Reverberação (TR); o ruído de fundo (RF) o nível de Pressão Sonora (Leq ou NPS). Por estes serem os mais comuns e determinantes irão ser aprofundados:

2.8.1. Relação sinal e ruído (S-R)

A relação Sinal e Ruído (S-R) é a diferença entre o sinal acústico da fonte sonora e o nível de pressão sonora do ambiente. Para se atingir um certo grau adequado de inteligibilidade, é necessária uma diferença mínima entre o sinal da fala e o ruído de fundo. No caso da sala de aula, em que o sinal (S) é a voz do orador (professor) e (R) é o ruído ambiental existente, quanto maior o valor desta relação (S-R), melhor é a situação de escuta dos alunos. Segundo BENTLER (2000), o que mais interfere numa sala de aula é a relação sinal ruído (S-R). Quanto mais positiva for, melhor situação de escuta será oferecida aos alunos. Quanto mais próxima do zero ou negativa, pior é a situação para que os alunos possam entender a fala do professor.

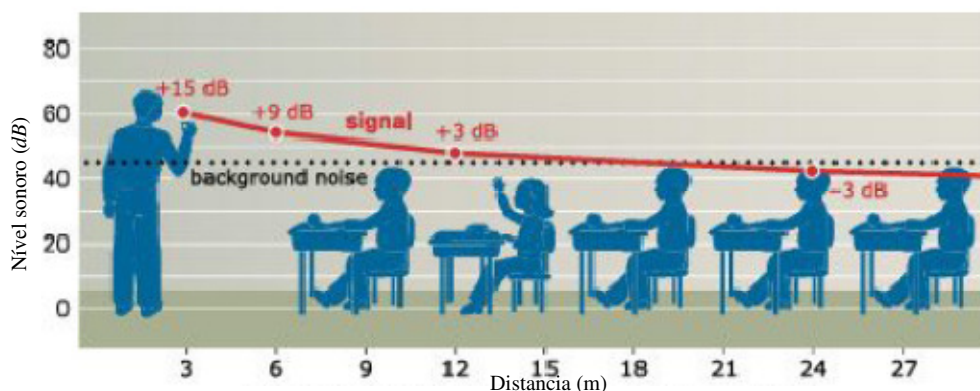


Figura 6 - Relação entre a voz e o ruído de fundo numa sala de aula - Fonte: Guckelberger (2003)

Pelo princípio físico que a intensidade sonora decresce 6 *dB* com o dobro da distância à fonte, é evidente que a relação S-R será maior nos alunos que estão perto do professor. Numa determinada frequência, para um sinal acústico de 70 *dB* e um ruído de fundo existente na sala de 65 *dB*, a relação S-R será positiva de +5 *dB*, resultando numa baixa compreensão da fala. Ao invés, se para um sinal acústico de 70 *dB*, existir um ruído de fundo de 75 *dB*, a relação S-R será negativa, pelo que não há compreensão da fala na sala de aula.

Os alunos dizem que ouvem e assimilam tudo o que o professor diz, mesmo no fundo da sala. No entanto, o que eles não conseguem perceber é que a fala perde a inteligibilidade, pois perde uma parte da energia desde os primeiros lugares até o fundo da sala. Existe uma recomendação para que os níveis médios de ruído dentro de uma sala de aula estejam entre 35 a 45 *dB* (Figura 7), pois níveis entre 50-65 *dB*, embora aceitáveis, provocam um stress leve, dando início ao desconforto auditivo, vigilância e agitação (THIERY e MEYER, 1988).

Locais	Nível Recomendado	
	apartamentos, enfermarias	30-40
hospitais	laboratórios, áreas públicas	35-45
	serviços	40-50
	bibliotecas	30-40
escolas	salas de aula	35-45
	circulação	40-50
hotéis	apartamentos	30-40
	restaurantes	35-45
	portaria, recepção	40-50
residências	dormitórios	30-40
	sala de estar	35-45
auditórios	salas de concerto	25-30
	salas de conferências	30-35
	restaurantes	35-45
escritórios	salas de reunião	25-35
	administração	30-40
igrejas		35-45
locais para esporte		40-55

Figura 7 - Níveis de ruído (em *dB A*) indicados para conforto acústico em diversos ambientes (Fonte: Gerges, 2000).

2.8.2. Ruído de fundo (RF)

O ruído de fundo é o som de um espaço destinado à aprendizagem desocupado e mobilado, incluindo sons exteriores (ventiladores, PC), a operar no seu máximo nível.

Segundo a norma ANSI S12.60, ruído de fundo pode ser externo ou interno. Externamente, é qualquer som gerado fora da sala, sons gerados por pessoas a falar fora de aula, veículos a passar ou barulho nos corredores. Os próprios equipamentos utilizados dentro da sala como ar condicionados, retroprojectores, são alguns exemplos. A Norma ANSI S12.60 estabelece valores máximos de 35 e 40 *dB* (Figura 8) para o ruído de fundo de salas de aula (inclusive com o sistema de ar condicionado ligado). PEARSONS et al. (1977) informaram que a média ponderada A dos níveis de ruído de fundo em escolas e em casas estava entre 45 *dB* e 55 *dB*. Com o nível médio de fala aproximadamente a 65 *dB* medido a uma distância de 1m da boca do falante, a relação S-R nas escolas e casa é por volta de + 10 a + 20 *dB*, isto é, o nível de fala é 10-20 *dB* mais alto do que o nível de ruído.

Ambiente de ensino	Média do ruído de fundo em uma hora em dB(A)
Ambientes com volume menor que 20.000 ft ³	35
Ambientes com volume maior que 20.000 ft ³ e ambientes auxiliares	40
Corredores e ambientes não usados para o ensino	45

Figura 8 – Valores máximos de ruído de fundo para salas de aula

2.8.3. Reverberação

Quando um som se propaga dentro de um ambiente, ao encontrar um obstáculo, reflecte-se voltando para o mesmo sítio. A reverberação é causada quando se dão várias reflexões do som num ambiente. Esta não é mais do que um prolongamento dos sons. Quando se diz que uma pessoa fala num ambiente reverberante, significa que ela ouve o som da sua própria voz de uma forma atrasada. É importante salientar que reverberação e eco não são sinónimos mas ambos são criados por princípios semelhantes. A figura seguinte ilustra o fenómeno:

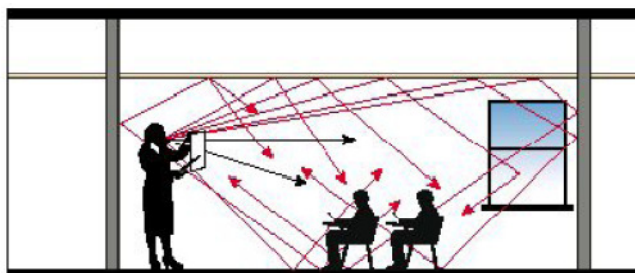


Figura 9 – Reverberação do som numa sala de aula
Fonte: Guckelberger (2003).

A reverberação prejudica bastante a inteligibilidade das palavras num ambiente. Ao pronunciar-se uma palavra com várias sílabas, os sons sobrepõem-se, ou seja, ao pronunciar-se uma sílaba, o som da anterior ainda se está a ouvir, prejudicando a inteligibilidade. Apenas dois factores são responsáveis pela reverberação de um ambiente:

O **índice de reflexão** das superfícies do ambiente (paredes, teto e piso) é tanto mais alto quanto mais duras forem estas. Assim, materiais como mármore e vidro são altamente reflexivos, enquanto materiais macios e porosos como a espuma, carpetes, algodão, lã de vidro, cortiça e outros, são bastante absorventes.

O **volume do ambiente**, quanto maior forem as distâncias entre as superfícies, maior será o atraso do som e, conseqüentemente, será a reverberação.

2.8.3.1. Tempo de Reverberação

O Tempo de Reverberação (TR) ou TR60 é o tempo necessário para que o nível sonoro decaia 60 dB após o final da sua emissão. Diferentemente dos outros parâmetros, o tempo de reverberação tende a ser uniforme na sala, isto é, o seu valor é independente da posição do ouvinte (MEHTA; JOHNSON; ROCAFORT, 1999). Segundo SILVA (2002:129) “*Tempo de reverberação é o tempo necessário para que a densidade média de energia contida num volume caia do seu valor inicial, a partir do instante em que a fonte de excitação for extinta*”. É o maior responsável pela boa ou má acústica de um ambiente. O TR 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 objectos), dos respectivos coeficientes de absorção (α) para as faixas de frequência consideradas. A Figura 10 representa intervalos de tempo onde a fonte sonora é constante, assim como a queda do som, após cessada a fonte (TR ou TR60).

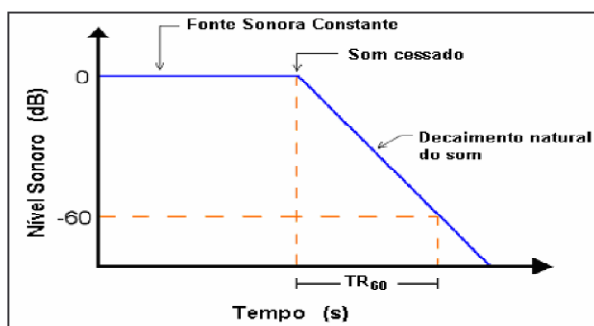


Figura 10 – Tempo de reverberação

Fonte: Adaptado de Mehta; Johnson; Rocafort, 1999, p.212.

De uma forma geral, à medida que se aumentam os volumes dos locais, também se incrementam os tempos de reverberação”. Segundo KNUDSEN e HARRIS (1988) para salas de até 116 m^3 , o tempo de reverberação pode ser utilizado para determinar efeitos da inteligibilidade da fala. Segundo os autores, 94 % de inteligibilidade pode ser considerada uma indicação de boas condições de comunicação que é alcançado com TR de, aproximadamente, 0,5 segundos. Na Figura 11 é apresentada uma imagem que indica as linhas representativas dos tempos ótimos de reverberação.

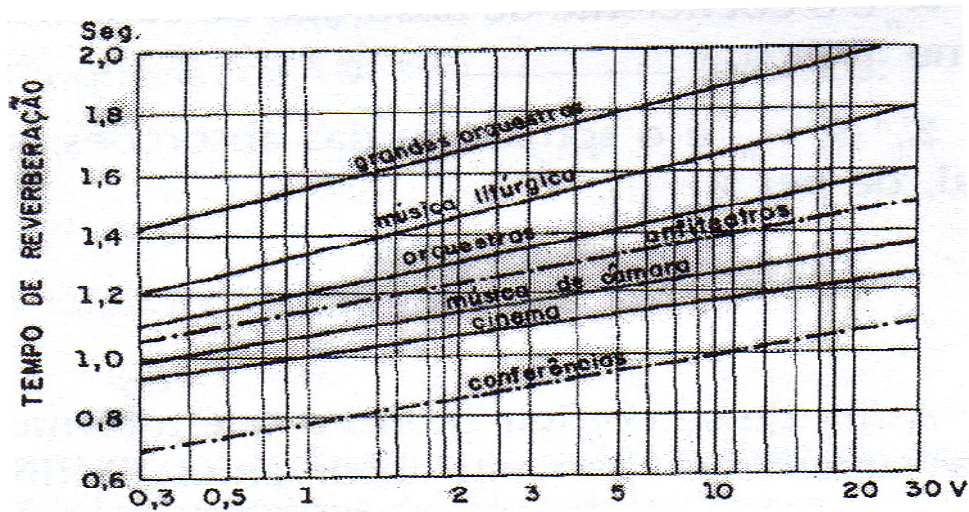


Figura 11 – Tempos ótimos de reverberação - Fonte: Silva (2002)

Entre as frequências de 100 e 512 Hz , o tempo de reverberação varia de uma forma muito sensível em função da frequência. Acima de 512 Hz , é constante para todas as frequências (SILVA, 2002 p.131). Sendo a faixa de frequência da fala humana entre 500

Hz e $4000 Hz$, a generalidade dos estudos usam a frequência de $500 Hz$ como frequência média considerada.

2.8.3.1.1. Cálculo do Tempo de Reverberação

Analicamente, o TR pode ser calculado através de equações encontradas na literatura, tais como: Sabine (1922), Eyring (1930) e Millington-Sette (Millington, 1932; Sette, 1933), e extraídas de Brüel & Kjaer (1978). O TR é sempre calculado com a sala desocupada, prevendo-se assim o pior cenário possível dentro da sala de aula. Este deve ser medido para todas as bandas de oitava, pois o TR pode variar nas diversas frequências (SEEP B. et al., 2000).

A equação de Sabine (1922):

Para salas com uma reverberação razoável e com uma distribuição uniforme dos materiais de Sabine, a fórmula deste autor permite uma boa indicação do provável comportamento da sala. É dada por:

$$TR = 0,161 \times \frac{V}{A} \quad (s), \quad (3)$$

Onde:

O TR é o Tempo de reverberação (s), V é Volume da sala (m^3), A é a Absorção (m^2);

Por sua vez a absorção é dada por:

$$A = \sum(S_i \times \alpha_i) \quad (4)$$

Em que:

S_i é área da superfície em m^2 ; e o α_i é o coeficiente de absorção de acabamento de superfície, do material.

Os coeficientes de absorção representam a fracção de energia que os materiais absorvem de 0 a 1, estes são adimensionais.

Contudo, a fórmula de Sabine possui limitações, pois se se verificar uma completa absorção (sala anecóica), onde o coeficiente tem valor unitário, o tempo de

reverberação seria zero, uma vez que toda a energia teria sido absorvida, não havendo pois nenhuma reflexão, e pela formula seria sempre superior a zero, por outro lado não tem em consideração a absorção sonora pelo ar e objectos presentes na sala de aula (cadeiras, mesas, pessoas, etc.).

Para Fasold e Veres (2003), a condição para a aplicação da equação de Sabine é o coeficiente médio de absorção sonora ser inferior a 3 ($\bar{\alpha} \leq 3$). Para ambientes com coeficientes de absorção médios superiores, os autores sugerem o uso da equação de Eyring (1930).

A equação de Eyring

As formulas de Eyring e Millington-Sette (Millington, 1932; Sette, 1933), permitem estimar um tempo de reverberação mais aproximado do resultado de medições em salas com pouca absorção. Esta equação é derivada da fórmula de Sabine (1922), tendo como diferenças a acústica geométrica, considerando que o som é difuso e se propaga igualmente em todas as direcções.

Para BRÜEL & KJAER (1978) são simplificações grosseiras do “real” comportamento acústico da sala, ou seja, representam “estimativas” do cálculo do tempo de reverberação, pois negligenciam factores importantes como os modos de ressonância da sala, a posição do material de absorção e a influência da forma da sala.

A formula de Eyring (1930) é dada por:

$$TR = \frac{0,16 \times V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad (s) \quad (5)$$

Em que o TR é o tempo de reverberação, em s, V o volume da sala, em m^3 , S representa a área total das superfícies dos materiais, em m^2 , e $\bar{\alpha}$ é a média dos coeficientes de absorção dos materiais;

A equação de Eyring (1930) fornece resultados mais próximos das medidas do tempo de reverberação para as salas “anecóicas”, quando comparados com os resultados obtidos através da fórmula de Sabine (1922). Também permite obter valores mais precisos de TR, para câmaras anecóicas onde TR tende para zero. Um inconveniente do uso desta

fórmula é que não associa cada área “S” com o respectivo coeficiente de absorção “ α ”. GERGES (2000) sugere o uso da Equação de Eyring (1930) ou de Millington e Sette (Millington, 1932; Sette, 1933) para um $\bar{\alpha}_{ambiente}$ maior que 0,2.

A equação de Millington (1932) e Sette (1933)

Esta equação é a mais utilizada na previsão do TR quando a sala possui materiais de absorção com vários coeficientes de absorção. É dada por:

$$TR = \frac{0,16 \cdot V}{\sum_i (-S_i \ln(1 - \alpha_i))} \quad (6)$$

A fórmula de Millington e Sette (Millington, 1932; Sette, 1933) indica que os materiais mais absorventes são mais eficazes para uma previsão antecipada na influência do tempo de reverberação. De seguida é apresentada uma tabela com alguns valores de coeficientes de absorção para materiais típicos usados nas escolas:

Tabela 1 - Coeficientes de Absorção Sonora de materiais usados em edifícios escolares
Fonte: Revista de Acústica e vibrações – nº 29 - Julho de 2002

	Coeficiente de Absorção do Som (α)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Forro de lã de vidro	0,7	0,85	0,75	0,85	0,9	0,9
Painel lã de vidro, 2"	0,3	0,5	0,8	0,9	0,8	0,75
Bloco de cimento pintado	0,1	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Placa de gesso	0,25	0,15	0,08	0,06	0,04	0,04
Parede ou teto de argamassa	0,14	0,1	0,06	0,05	0,04	0,03
Piso de linóleo ou ladrilho	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Carpete fina sobre cimento	0,05	0,1	0,25	0,3	0,35	0,4
Porta de madeira	0,15	0,11	0,09	0,07	0,06	0,06
Vidro	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Quadro Negro	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02

2.8.4. Inteligibilidade da fala

Todos os factores acústicos (ruído de fundo, reverberação, relação sinal/ruído) podem ser resumidos em apenas um parâmetro: a inteligibilidade da voz, que pode ser definida como a percentagem de fonemas³ entendidos pelo receptor (FERNANDES, 2000). Segundo NEPOMUCENO (1994) entende-se por inteligibilidade da fala, a relação entre o número de palavras ou sílabas entendidas e o número de palavras, frases ou sílabas faladas, admitindo-se pessoas otologicamente normais. A inteligibilidade pode ser expressa em termos de percentagem, sendo que quanto maior o índice, maior a compreensão do sinal acústico. A Figura 12 relaciona os valores da inteligibilidade com a qualidade acústica:

<i>Valores da Inteligibilidade</i>	<i>Qualidade acústica</i>
$I \geq 90 \%$	Ótima
$85 \% \leq I < 90 \%$	Muito boa
$80 \% \leq I < 85 \%$	Boa
$75 \% \leq I < 80 \%$	Satisfatória
$70 \% \leq I < 75 \%$	Regular
$60 \% \leq I < 70 \%$	Má
$I < 60 \%$	Inaceitável

Figura 12 – Valores e qualidade da Inteligibilidade

A inteligibilidade da fala relaciona-se com a relação S-R, pois quanto maior for o Sinal Ruído, maior será a inteligibilidade como demonstra a imagem seguinte.

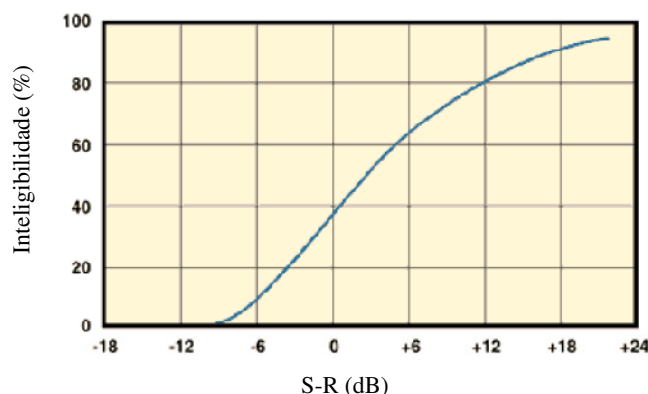


Figura 13 – Inteligibilidade da fala em função da relação S-R
Fonte: Meyer Sound Laboratories (1998)

³ Fonemas são os sons existentes num vocábulo. Por exemplo, o vocábulo 'casa' contém dois fonemas

A inteligibilidade de fala nas salas é influenciada segundo NÁBĚLEK e NÁBĚLEK (1999) por três factores: o nível da fala, a reverberação da sala e o ruído de fundo. A importância de cada um destes, depende da distância do ouvinte da fonte sonora, porque os níveis dos sons directos e reflectidos e o ruído de fundo variam ao longo da sala.

Para uma boa inteligibilidade, a intensidade de fala diminui de acordo com a distância da fonte. Quando a fonte sonora deixa de produzir som, a energia sonora na sala não desaparece instantaneamente, esta diminui gradativamente sempre que o som bate nas superfícies e é absorvido pelo ar. A inteligibilidade da fala depende do tempo de reverberação e da relação entre as energias directa e reflectida.

Se o ruído estiver misturado com a fala, então algumas partes da fala encobertas pelo ruído tornar-se-ão inaudíveis, ou mascaradas. Em salas silenciosas, a inteligibilidade da fala diminui com o aumento do tempo de reverberação que, até certo ponto, é semelhante ao ruído e afecta a identificação das consoantes, mais do que as vogais. Pode-se concluir que, para manter alta inteligibilidade da fala, o tempo de reverberação em salas com níveis consideráveis de ruído deveria ser menor do que o tempo de reverberação em lugares silenciosos.

A Figura 14 relaciona a inteligibilidade com o tempo de reverberação.

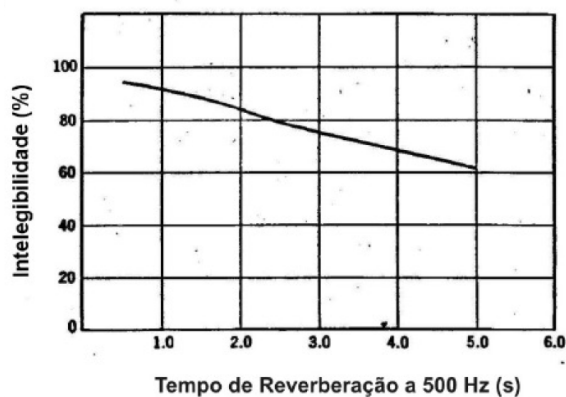


Figura 14 – Inteligibilidade da fala para diferentes TR
Fonte: Adaptado de KNUDSEM; HARRIS, 1988, p. 379)

O tempo de reverberação e a relação sinal ruído afectam de uma maneira significativa, a inteligibilidade da fala. Esta será tanto maior for a relação S-R, para um tempo de reverberação específico.

2.8.5. Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

O Tempo de Decaimento Inicial (Early Decay Time - EDT) é o tempo necessário para que a curva de decaimento energético caia os primeiros 10 *dB* (ISO, 1997). O EDT corresponde a um importante parâmetro acústico de avaliação de um ambiente, pois este considera a energia sonora contida no início da propagação sonora, sendo esta energia importante para a melhor inteligibilidade, devido aos fenómenos das reflexões e suas consequências. É expresso em milissegundos (m_s) e oferece uma avaliação alternativa do tempo de reverberação da sala. Conseguem-se valores mais baixos de EDT naqueles pontos da sala que apresentam maior concentração das reflexões e também com maior absorção em relação às demais posições da sala (SALGADO, 2003). Para HODGSON (2001) o EDT depende das dimensões da sala (tamanho e forma) e da sua absorção sonora (quantidade e distribuição).

2.8.6. Definição (D50)

O parâmetro Definição (D50) representa a razão entre a energia total e a energia inicial que chega a um ponto da sala durante os primeiros 50ms, após o som directo, este varia de 0 a 1. Quanto mais próximo for de 1, melhor a definição e, portanto, melhor a inteligibilidade (ISO 3382, 1997). A Figura 15 ilustra-nos uma situação do comportamento do som num campo sonoro.

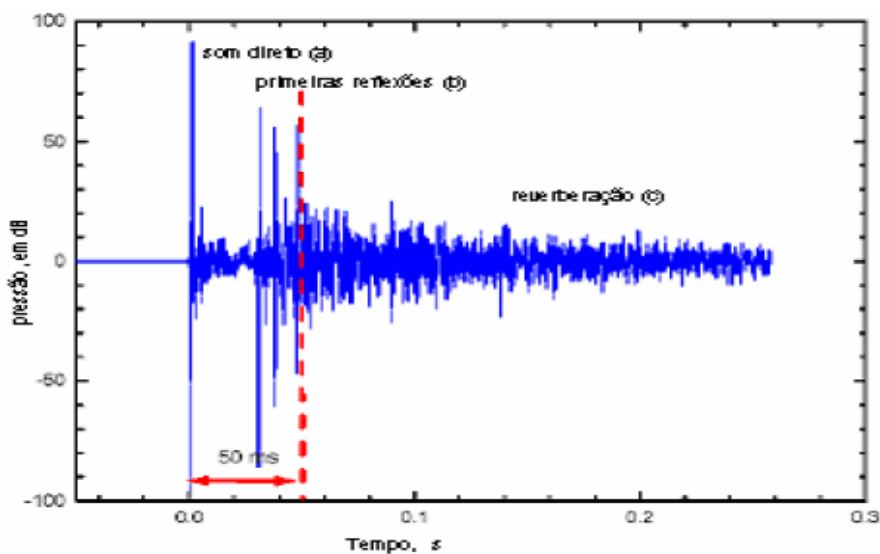


Figura 15 – Estrutura de um campo sonoro, e os primeiros 50 m,
Fonte: Adaptado de Bistafa (2005).

2.8.7. Índice de Transmissão da Fala (STI)

O Índice de Transmissão da Fala (Speech Transmission Index -STI) determina a inteligibilidade com base na profundidade de modulação da forma de onda na fala. Apresenta uma onda de alta frequência com a amplitude modulada por uma onda de baixa frequência. A diferença de nível entre um pico sonoro e a faixa próxima é definida como “profundidade de modulação”. Se nenhum ruído ou reverberação interferir na fala, existirá pouca energia na faixa próxima dos picos. Portanto, a profundidade de modulação é de 100%, o valor STI é 1 e a inteligibilidade é excelente. Ruídos de fundo e/ou reverberação adicionam energia nessa faixa, reduzindo a profundidade, o STI e a inteligibilidade. Quando o valor STI cai para zero, a fala torna-se totalmente ininteligível. O STI compreende valores entre 0 (inteligibilidade nula) e 1 (inteligibilidade ótima). É o parâmetro mais importante para análise da inteligibilidade da fala, pois é o único método que leva em conta os dois critérios: a relação entre sinal e ruído e a reverberação. O STI é calculado considerando-se a diferenciação entre a voz feminina e a voz masculina (BRÜEL & KJAER, 2005). A Figura 16 ilustra a relação entre STI e a inteligibilidade da fala:

STI	Inteligibilidade da fala
0,00 – 0,30	Má
0,30 – 0,45	Pobre
0,45 – 0,60	Razoável
0,60 – 0,75	Bom
0,75 – 1,00	Excelente

Figura 16 – Relação do STI e a inteligibilidade da fala
Fonte: Adaptado de IEC60268-16 (1998 apud BRÜEL & KJAER, 2005).

2.8.8. Percentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons)

Este parâmetro representa a percentagem da perda na articulação baseada na percepção de palavras pelo ouvinte. Os valores da %ALCons variam de 0 (correspondendo a uma excelente inteligibilidade da fala) a 100 (correspondendo a uma inteligibilidade da fala extremamente má). Ou seja, quanto maior a percentagem, menor será a inteligibilidade da fala (BRÜEL & KJAER, 2005). É dada através de uma expressão que depende da distância entre fonte e receptor, do volume da sala, e do tempo de reverberação. Salgado (2003) apresenta uma correspondência entre a inteligibilidade da fala e os parâmetros de %ALCons e o STI, conforme demonstrada na Figura 17.

%ALCons	STI	Inteligibilidade da fala
27% - 46,5%	0,24 – 0,34	Má
12% - 24,2%	0,36 – 0,49	Pobre
5,3% - 11,4%	0,50 – 0,64	Aceitável
1,6% - 4,8%	0,66 – 0,86	Bom
0% - 1,4%	0,88 – 1,00	Excelente

Figura 17 – Correspondência entre a inteligibilidade e os parâmetros STI e %ALCons
Fonte: Fonte: Adaptado de SALGADO (2003, p.58).

2.9. Ouvido Humano

O som é uma onda mecânica, ou seja, a sua propagação ocorre graças à oscilação das partículas do meio. O ouvido humano não é mais do que um eficiente transdutor que transforma essas pequenas alterações de pressão em sinais eléctricos interpretáveis pelo sistema nervoso. Depois da visão, a audição é o sentido que fornece ao

cérebro mais informações do mundo exterior. A audição é um órgão sensorial importante à vida, constitui a base da comunicação humana.

As ondas sonoras percorrem o ouvido externo até atingir o tímpano, provocando vibrações que por sua vez são transferidas para os três ossos do ouvido médio, que trabalham como uma série de alavancas. As vibrações são ondas de pressão que se propagam até a cóclea e viajam ao longo do tubo superior da mesma. Neste processo, as paredes finas da cóclea vibram e as ondas passam para o tubo central e depois para o tubo inferior até a região conhecida como janela redonda. As vibrações das membranas basal e tectória, em sentidos opostos, estimulam as células a produzirem sinais eléctricos. As ondas percorrem distâncias diferentes ao longo da cóclea, com vários tempos de atraso, dependendo da frequência. Isto permite ao ouvido distinguir as frequências do som (GERGES, 1992).

A percepção da direcionalidade do som ocorre através do processo de correlação cruzada entre os dois ouvidos. A diferença de tempo entre a chegada do som num ouvido e no outro (ouvido esquerdo e direito) fornece informação sobre a direcção de chegada, por isso é necessário manter os dois ouvidos sem perda de sensibilidade.

Habitualmente, o ouvido humano é dividido em três partes: ouvido externo, ouvido médio e ouvido interno.

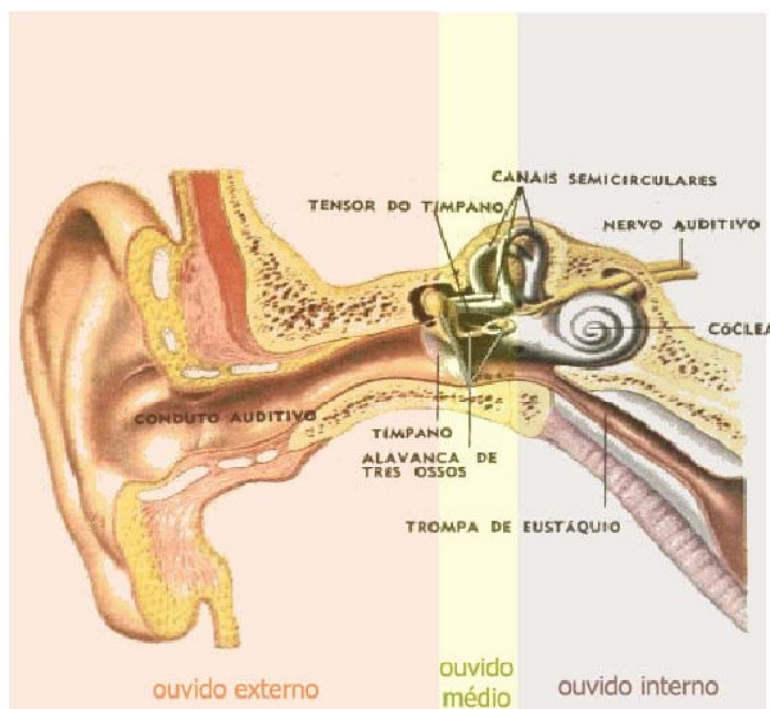


Figura 18 – Descrição do ouvido humano

2.9.1. Ouvido Externo

É constituído pelo pavilhão auricular e pelo canal auditivo. Tem como funções facilitar a captação do som e amplificá-lo nas frequências mais altas, ou seja, transmitir as ondas como vibrações para o ouvido interno.

2.9.2. Ouvido Médio

É composto pela membrana timpânica (o tímpano), por 3 ossículos (ossos pequenos) chamados de estribo, martelo e bigorna e por dois músculos, um chamado estapedio e o outro tensor do tímpano. A função do ouvido médio é proteger o ouvido interno e amplificar o som.

2.9.3. Ouvido Interno

O ouvido interno está dividido em 3 partes:

Vestíbulos – a partir dele aparecem os canais semi-circulares (cóclea ou caracol);

Janela oval – formado pela cóclea que contém os elementos sensoriais para a audição e o pelo sistema vestibular, responsável pelo nosso equilíbrio (este, quando alterado, a pessoa pode apresentar vertigens, como ocorre na labirintite).

O ouvido interno tem como função libertar transmissores químicos e causar impulsos ao nervo auditivo.

2.9.4. Mecanismo de protecção do ouvido

Frente à exposição a ruídos em geral, as orelhas são dotadas de mecanismos protectores que alteram a sensibilidade auditiva durante e após a estimulação acústica. O primeiro mecanismo protector é o mascaramento, quando a percepção de um som é diminuída em presença de um ruído de intensidade que encubra esse som. O segundo é a adaptação auditiva, ou seja, a sensibilidade auditiva é reduzida durante a apresentação de um estímulo sonoro intenso e duradouro. O terceiro diz respeito à fadiga auditiva, que

ocorre após a cessação dos estímulos, podendo ser também chamada por mudança temporária. Conseqüentemente, há diferença entre adaptação e fadiga auditiva. A primeira constitui um fenómeno peri-estimulatório e a segunda, pós-estimulatório.

2.10. Efeitos do Ruído no ser Humano

A exposição constante ao ruído pode causar diversos efeitos na saúde do indivíduo. Além das alterações no aparelho auditivo, a exposição ao ruído, poderá ser nociva a outros órgãos e sistemas. MORAES e REGAZZI (2002) referem que o ruído é um problema que acompanha o desenvolvimento da tecnologia, e os seus efeitos fazem-se sentir tanto nos locais de trabalho como nas comunidades. As acções do ruído sobre o organismo humano podem-se dividir em: **efeitos auditivos** (mudança temporária do limiar de audição; surdez permanente; trauma acústico); **efeitos sobre o organismo** (perturbação da circulação sanguínea e causar efeitos psicológicos como o “stress”); **efeitos sobre o rendimento do trabalho** (fadiga, falta de atenção, e até mesmo acidentes).

O risco de lesão auditiva aumenta com o Nível de Pressão Sonora e com o tempo de exposição. O efeito do ruído sobre a acuidade auditiva depende do próprio indivíduo a ele exposto, e dos parâmetros do som como a intensidade (nível de pressão sonora), o tipo (contínuo, intermitente ou de impacto), a frequência, a duração, distribuição ao longo do dia etc.

No aparelho auditivo, de acordo com FIORINI (1994), os **efeitos do ruído na audição** podem ser caracterizados por:

Trauma acústico que se traduz num problema auditivo causado por uma única exposição a níveis sonoros muito intensos;

Mudança temporária do limiar, que consiste na redução do limiar auditivo logo após a exposição ao ruído, esta redução no limiar auditivo é um fenómeno temporário, já que volta ao normal após um período de repouso auditivo;

Mudança permanente devida a frequentes exposições ao ruído levando a uma Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR).

Os **efeitos sobre o organismo humano**, decorrentes da exposição contínua ao ruído, podem apresentar a seguinte classificação:

Os efeitos auditivos produzem causas fisiológicas, fisiopatológicas ou auditivas, desenvolvendo acções directamente no sistema auditivo.. As lesões do ouvido interno, decorrentes da exposição contínua ao ruído, acarretam para o indivíduo esgotamento físico e alterações químicas, metabólicas e mecânicas (CARMO, 1999).

Os efeitos extra auditivos resultam de uma acção geral sobre diversas funções orgânicas. Segundo CARMO (1999), as principais manifestações que podem ocorrer são: aumento das frequências cardíaca e respiratória, da pressão arterial, vasoconstricção periférica, vasodilatação cerebral, aumento da secreção da saliva, dilatação das pupilas etc. De acordo com MORAES e REGAZZI (2002), as primeiras manifestações da acção do ruído são a inquietude, irritabilidade e alteração do metabolismo basal com distúrbios neuro musculares. Na actividade cerebral, a capacidade do organismo de se ajustar a diversas formas de ruído deve-se à grande elasticidade e capacidade de adaptação do organismo humano aos estímulos do ambiente. Por ser proveniente de uma reacção psicológica, a influência do ruído afecta as pessoas de formas diferentes, nem mesmo durante o repouso o homem fica livre da acção do ruído que age sobre o subconsciente e o sistema nervoso piorando a sua saúde (MORAES E REGAZZI, 2002).

Os ruídos intensos tendem a afectar o **rendimento no trabalho** prejudicando tarefas que exigem concentração mental e acções que necessitem de atenção ou velocidade de precisão de movimentos e os resultados tendem a piorar após duas horas de exposição ao ruído (IIDA, 1999). A Figura 19 indica as partes do corpo afectadas pelo ruído:

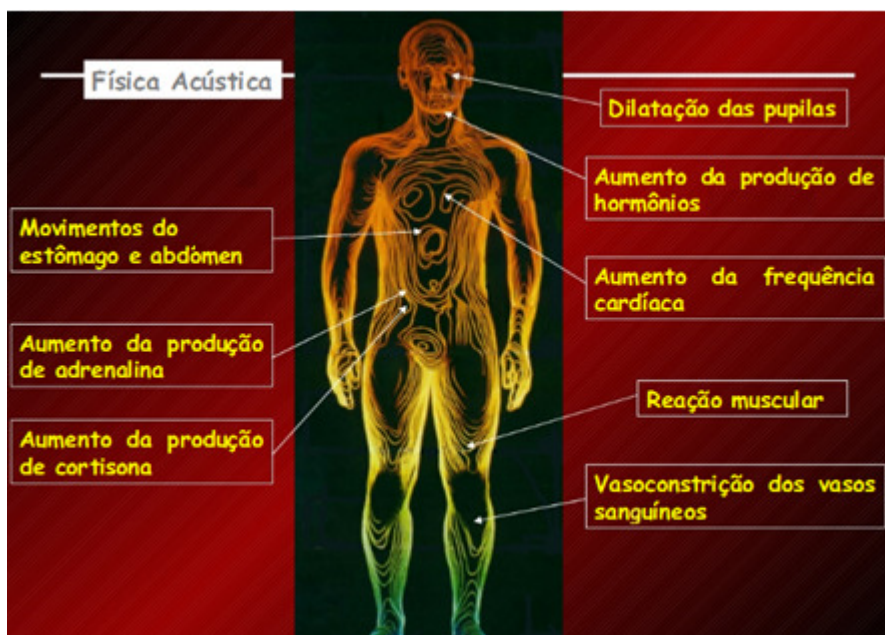


Figura 19 – Zonas do corpo humano afectadas pelo ruído

O ruído pode causar desde efeitos psíquicos na ordem dos 65 *dB*, até danos irreversíveis na audição para valores de 120 *dB*, como mostra a Figura 20.

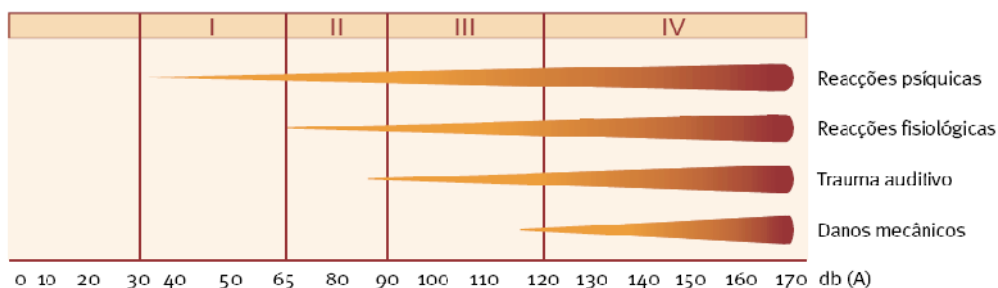


Figura 20 – Correspondência de intensidade de ruído, com os efeitos no Homem

- I: Efeitos psíquicos, sem excluir alguns efeitos fisiológicos
- II: Efeitos psíquicos e fisiológicos, sobretudo ao sistema neurovegetativo
- III: Lesões irreversíveis no sistema auditivo
- IV: Danos irreversíveis na audição e nas células nervosas à superfície da pele

2.11. Legislação

A legislação em vigor, em Portugal, na matéria de ruído encontra-se regulamentada desde 1 de Janeiro de 1988, data em que entrou em vigor o Regulamento Geral sobre o Ruído (RGR), aprovado pelo Decreto-Lei n.º251/87, de 24 de Junho. Este regulamento foi substituído por um outro designado Regime Legal sobre a Poluição Sonora, aprovado pelo Decreto-Lei n.º292/2000, de 14 de Novembro.

Actualmente, encontra-se em vigor o novo Regulamento Geral de Ruído, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro, em vigor desde 1 de Fevereiro de 2007. Segundo o artigo n.º1, do Capítulo 1, este regulamento “(...) *estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações.*”

Em complementaridade com este regulamento, relativamente às condições acústicas dos edifícios destaca-se o Regulamento de Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio. Segundo o artigo n.º1 do Capítulo 1, este regulamento “(...) *estabelece os requisitos acústicos dos edifícios, com vista a melhorar as condições de qualidade da acústica desses edifícios.*”

Este Decreto-lei foi actualizado para o novo Decreto-Lei n.º96/2008, de 9 de Junho que actualmente vigora em Portugal.

No que à matéria da segurança dos trabalhadores diz respeito foi publicado em 28 de Abril de 1992 o Decreto-Lei n.º 72/92 que visa implementar medidas preventivas para os riscos decorrentes da exposição ao ruído. Este decreto foi alterado para o novo Decreto-Lei n.º 182/2006, que se encontra implementado actualmente.

Relativamente ao tema “Ambiente escolar” podemos caracterizá-lo como uma zona sensível, isto é, “*a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos (...)*” de acordo com a alínea x) do artigo 3.º, do capítulo I do Decreto-Lei n.º 9/2007. Neste Decreto-Lei, a alínea b) do artigo 11.º, do Capítulo III, descreve que “*As zonas sensíveis não devem ficar expostas a ruído ambiente*

exterior superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador L_{den}^4 , e superior a 45 dB(A), expresso pelo indicador L_n^5 .

O artigo 3 do Decreto-Lei nº182/2006 impõe valores limites de exposição e valores de acção⁶ para os trabalhadores. Segundo o mesmo artigo, “(...)os valores limites de exposição e os valores de acção superior e inferior, no que se refere à exposição pessoal diária ou semanal ao nível de um trabalhador e ao nível da pressão sonora de pico, são fixados em:

Valores limite de exposição: $L_{(EX,8H)} = \bar{L}_{(EX,8h)} = 87 \text{ dB (A)}$ e
 $L_{C \text{ pico}} = 140 \text{ (C)}$ equivalente a 200 Pa.

Valores de acção superiores: $L_{(EX,8H)} = \bar{L}_{(EX,8h)} = 85 \text{ dB (A)}$ e
 $L_{C \text{ pico}} = 137 \text{ (C)}$ equivalente a 140 Pa.

Valores de acção inferiores: $L_{(EX,8H)} = \bar{L}_{(EX,8h)} = 80 \text{ dB (A)}$ e
 $L_{C \text{ pico}} = 135 \text{ (C)}$ equivalente a 112 Pa”.

Em que:

$L_{EX,8H}$ – representa os valores da intensidade sonora medidos em cada dia da semana.

$L_{C \text{ pico}}$ – é o pico máximo de pressão sonora instantânea, com ponderação C, expresso em dB (C).

O Decreto-Lei nº96/2008 de 9 de Junho indica requisitos acústicos de carácter relevante para os vários compartimentos que compõem os edifícios escolares. Assim, de acordo com a alínea a) do artigo 7º, o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m, nT, w}$, entre o exterior dos edifícios (emissor), e os compartimentos interiores (receptor) identificados na Tabela 2, deve satisfazer as condições seguintes:

- I. $D_{2m, nT, w} \geq 33 \text{ dB}$ em zonas mistas;
- II. $D_{2m, nT, w} \geq 28 \text{ dB}$ em zonas sensíveis;

⁴ Indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno. Para mais informação ver Anexo 1

⁵ Indicador de ruído nocturno, este encontra-se mais detalhado no Anexo 1

⁶ Os valores limite de exposição e os valores de acção superior e inferior encontram-se com mais detalhe no Anexo 1

De acordo com a alínea b) do mesmo artigo, no interior dos locais de recepção (Tabela 2) o índice, $L'_{nT, w}$, proveniente de uma excitação de percussão normalizada sobre pavimentos de outros locais do edifício, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte:

- I. $L'_{nT, w} \leq 60 \text{ dB}$, (se o local emissor for corredor de grande circulação, ginásio, refeitório ou oficina);
- II. $L'_{nT, w} \leq 65 \text{ dB}$, (se o local emissor for salas de aulas, berçário ou salas polivalentes);

Em que:

$D_{2 m, nT, w}$ – Isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado; representa a diferença entre o nível médio de pressão sonora exterior, medido a dois metros da fachada do edifício ($L_{1,2m}$), e o nível médio da pressão sonora medida no local da recepção (L_2), corrigido da influência das condições da reverberação do compartimento receptor.

$L'_{nT, w}$ – Nível sonoro de percussão padronizado; Nível sonoro médio L_i medido no compartimento receptor, proveniente de uma excitação de percussão normalizada exercida sobre um pavimento, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor.

Tabela 2 – Locais de emissão, recepção (Fonte: DL nº 96/2008 artigo 7)

Locais de recepção	Salas de aula(*), de professores, administrativas	Bibliotecas e gabinetes médicos	Salas polivalentes e berçários
Locais de emissão			
Salas de aula, de professores administrativas	≥ 45	≥ 45	≥ 45
Salas de aula musical. Salas polivalentes, refeitórios, ginásios e oficinas	≥ 55	≥ 58	≥ 50
Berçários	≥ 53	≥ 55	≥ 48
Corredores de grande circulação (**)	≥ 30	≥ 35	≥ 30

* Incluindo salas de aula musical;

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A actividade experimental realizou-se numa escola de ensino básico situada na cidade de Coimbra. A escola abrange alunos do 1º, 2º e 3º ciclo do ensino básico. Para o estudo apenas foram comparados valores de alunos de 5º e 6º anos, uma vez que turmas destes anos representavam a maioria dos horários nas salas em estudo. Pretende-se com este trabalho, determinar o ambiente acústico das salas de aula do ensino em Portugal, de forma, a desenvolver medidas caso necessário, que possam melhorar as condições, em que estas são dadas.

3.1. Caracterização do local em estudo

Foram analisadas duas salas de aula, com várias turmas, num período de 4 semanas e um dia. Foi necessário ter mais alguns dias de medição uma vez que, nem sempre estas foram bem sucedidas.

O estudo compreende alunos do 5º e 6º ano, com idades compreendidas entre os 10 e 13 anos. O número de alunos é variável, indo de 20 a 28 alunos por turma. As salas de aula para mais fácil compreensão designar-se-ão por sala A e sala B.

A Sala A encontra-se no piso 0 e a B no piso 1, ambas estão rodeadas por 5 salas de aula. De referir que no piso 0, encontra-se externamente ao pavilhão todo o espaço de recreio, estradas onde possam circular algumas viaturas, máquinas etc.

A sala A era destinada ao lecionamento de Ciências da Natureza pelo que os alunos tinham actividades em grupo, tinha 9 Mesas grandes, e 36 cadeiras.

A sala B destinava-se a lecionamento de disciplinas normais, tinha 16 mesas pequenas e 32 cadeiras.

Ambas as salas tinham uma estante, um quadro e alguns equipamentos como um retroprojector, um PC, e um 1 aquecedor a óleo.

As salas apresentavam uma geometria similar, apesar de terem algumas características diferentes como a sua constituição, foram tratadas de forma igual para simplificar os processos de cálculo e conclusões.

3.2. Material utilizado

- Dois dosímetros Brüel & Kjaer com microfone externo;
- 1 PC;
- Software de comunicação;
- 1 Cabo de dados;

3.3. Fases do Procedimento Experimental

O procedimento teve 5 fases :

1. Configuração dos dosímetros e software de comunicação;
2. Instalação dos equipamentos;
3. Recolha dos dados;
4. Filtragem dos dados;
5. Tratamento estatístico;

3.3.1. Configuração dos equipamentos

Na configuração do PC foi criada uma ligação nova, e definida a porta de comunicação. Neste caso utilizou-se a porta 3 – COM 3;

Após este passo definiu-se as propriedades da porta:

- Bits/s : 9600;
- Bits de dados: 8;
- Paridade; Nenhum ;
- Bits de paragem: 1;
- Controlo do fluxo: Nenhum;

Configuração do dosímetro

A figura seguinte ilustra o dosímetro utilizado:



Figura 21 – Dosímetro Brüel & Kjaer.

O princípio de funcionamento do dosímetro é a integração dos valores instantâneos de níveis de pressão sonora, ocorridos num minuto (opção) devolvendo um valor equivalente do nível de pressão L_{eq} . O dosímetro fornece o valor equivalente do nível de pressão, bem como o máximo valor da pressão registado no mesmo intervalo de medição (1 minuto).

Inicialmente, foi necessário calibrar o equipamento. Com a ajuda de um calibrador próprio, indicado pelo fabricante, que emitia um valor conhecido de L_{eq} , configurou-se o dosímetro. Após a calibração era necessário introduzir o modo de recolha de dados do dosímetro. No nosso caso configuraram-se as seguintes propriedades: microfone externo, tempo de resposta rápida, filtro de pico linear, valor da dose a 100% - 90 dB e não haver limite superior de escala. Consultando o manual de utilização, escolheu-se o Setup nº 32. Configurado o equipamento foi necessário programá-lo para gravar todas as emissões de ruído num intervalo de tempo. Sabendo que as aulas têm o seu início às 8:30 e o fim às 17:00, definiu-se o tempo de gravação das 8:00 até às 17:00 horas. Esta foi uma programação diária pois era necessário reconfigurar o período de gravação, já que, no final do dia o equipamento apenas guardava em memória os dados recolhidos.

3.3.2. Instalação dos equipamentos

Os dosímetros foram colocados a cerca de meio metro do tecto numa posição relativamente central na sala, de forma a não afectar as medições, foi afastado de fontes de ruído externas, como o retroprojector e o PC.

3.3.3. Recolha de Dados

Nesta fase o equipamento era recolhido, inseria-se um cabo de dados com ligação a um PC. De seguida entrava-se na Nova ligação → opções → transferir → capturar texto. Após estes passos definiu-se a pasta de destino e o tipo de ficheiro. Posteriormente ligava-se o dosímetro, pressiona-se a tecla 5 (print) → History → 1min interval → print all → Table. Desta forma era-nos devolvido um ficheiro “txt” com todo o ruído equivalente.

Como anteriormente referido, foi necessário a deslocação à escola diariamente, para a recolha de dados. Isto porque, o dosímetro apenas guardava uma gravação de cada vez. Após recolher os dados do dia presente, programava-se o equipamento para que no dia seguinte, se efectuasse uma nova medição no mesmo período. Este procedimento foi repetido diariamente, ao longo de quatro semanas.

Após todas as medições, converteu-se o ficheiro num formato que pudesse ser lido no Microsoft Excel[®]. Este foi o programa escolhido para todo o tratamento de dados, devido à sua simplicidade e grande número de ferramentas.

3.3.4. Filtragem de dados

Visto haver interrupções ao longo do dia relativamente às aulas, como: intervalos, horas de almoço e períodos sem quaisquer aulas, foi necessário filtrar convenientemente os dados para que se fizesse uma análise mais objectiva e directa a todos os elementos em estudo.

3.4. Tratamento estatístico

Para o tratamento estatístico de todos os dados recorreu-se mais uma vez ao programa Microsoft Excel[®]. Recorreu-se à estatística descritiva, usando algumas ferramentas que procuraram descrever e dar-nos informações básicas dos dados, tais como Média, Desvio Padrão, Amplitude. Para a determinação do nível equivalente de pressão sonora (L_{eq}), utilizou-se a equação 2.

3.4.1. Estatística Descritiva

3.4.1.1. Medidas de tendência central

Média Aritmética (\bar{x}) – quociente entre a soma total dos valores observados, e o número total de valores. É dada por:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (7)$$

3.4.1.2. Medidas de dispersão

Amplitude – é a diferença entre o maior e o menor valor de um conjunto de dados.

Desvio Padrão – Sendo a média um valor central, o desvio padrão representa as variações dos valores relativamente a esta. Assim quanto menor for o desvio, mais próximos estarão os valores da média. É dado por:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - x_i)^2}{n-1}}. \quad (8)$$

Em que n é o número de valores a considerar.

3.4.2. Estatística Inferencial

Para procurar quaisquer relações de variáveis de ruído com outros parâmetros tais como: hora do dia, duração da aula e o dia; negar ou validar hipóteses que se verifiquem com uma elevada probabilidade, recorreu-se à estatística Inferencial. Esta por definição é o conjunto de técnicas utilizadas para identificar relações entre variáveis que representem ou não relações de causa e efeito;

A estatística inferencial tem como métodos principais a estimação (em que a amostra é usada para estimar um parâmetro e um intervalo de confiança dessa estimativa, e o teste de hipóteses.

O método utilizado neste trabalho baseia-se fundamentalmente no teste de hipóteses. Este apoia-se em regras de inferência negativa; propõe uma hipótese nula que consiste em negar a existência de relação entre uma variável independente (aquela que provoca efeitos na variável dependente), e uma variável dependente (aquela que o investigador tem interesse em compreender, explicar ou prever), e pressupor que qualquer relação observada entre elas, é somente uma função de acaso ou de flutuações de amostragem. É objectivo do investigador procurar provar que a hipótese nula tem elevada probabilidade de estar incorrecta, nesse caso a hipótese científica tem mais probabilidade de estar correcta, não sendo certo que esteja efectivamente correcta.

Neste trabalho procurou-se estabelecer uma relação da duração da aula, da hora e do dia da semana, com o nível sonoro contínuo equivalente. O objectivo é saber se devemos ou não rejeitar a hipótese nula, para tal temos que averiguar se as médias dos valores de Leq diferem muito, nos intervalos de dados considerados.

3.4.2.1. Análise de Variância

A Análise de Variância (ANOVA) é um procedimento estatístico que foi desenvolvido inicialmente por R.A.Fisher, e para o qual J.W.Tukey propôs o nome de ANOVA – que significa “Analysis of Variance”. Aplica-se quando se pretende comparar três ou mais tratamentos. Entende-se por tratamento uma condição imposta ou objecto que se deseja medir ou avaliar numa experiência. De acordo com o número de variáveis independentes em análise a Anova propõe resoluções diferentes como ilustra a Figura 22.

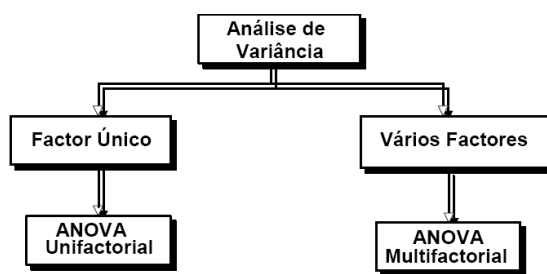


Figura 22 – Esquema da ANOVA

Quando se tem um único factor, e se quer testar a igualdade de duas ou mais médias populacionais para planos perfeitamente casualizados, usa-se a Anova unifactorial. Se por outro lado, se existirem dois ou mais factores diferentes, cada um podendo ter mais de 2 níveis usa-se a Anova multifactorial.

Para o presente trabalho, recorreu-se à Anova Unifactorial, pois teremos que verificar se existe ou não relação do nível de ruído, com três características/hipóteses distintas; hora do dia, duração da aula e dia da semana, em que há um factor por comparação em três testes.

Para a resolução do teste Anova recorreu-se a uma ferramenta estatística de um suplemento do Microsoft Excel – *Analysis Toolpak*.. O método devolve-nos um factor estatístico F, que não é mais que um quociente entre duas variâncias; devido aos tratamentos QM_{trat} , e variância devido ao erro (QM_{erro}).

Este factor F ao ser comparado com um valor tabelado, encontrado em função dos graus de liberdade entre grupos, e em cada grupo, permite-nos aceitar ou rejeitar a hipótese nula, e conseqüentemente tirar conclusões sobre a significância das diferenças entre as médias.

A partir da análise da dispersão total presente num conjunto de dados, a análise da variância permite identificar os factores que deram origem a essa dispersão e avaliar a contribuição de cada um deles (GUIMARAES e CABRAL, 1997:427)

4. DEMONSTRAÇÃO DE RESULTADOS

Este capítulo está organizado da seguinte forma: Inicialmente foi feita uma análise das salas separadamente, e depois uma comparação entre estas. Esta comparação serve para identificar os níveis médios de ruído equivalente entre salas, e entre anos lectivos. Foi necessário ajustar o cálculo de *Leq*, para cada intervalo respectivo - aulas de 45 e 90 minutos.

No período de medição não foram registadas as segundas feiras, isto porque era necessário fazer limpar a memória do dosímetro com algum tempo de antecedência, e como no Domingo a escola estava fechada não se registou qualquer segunda feira.

Como já foi referido o período de medição foram 4 semanas e um dia nos quais se registaram:

- Na sala A 86 aulas: 46 aulas do 6ºano, 36 aulas do 5º ano, e quatro do 7º ano (não consideradas).
- Na sala B analisaram-se 59 aulas: 12 aulas do 6º ano, 47 aulas do 5ºano

O facto de na sala B se terem analisado menos aulas que na A, deve-se a quantidade superior de aulas na Sala A, e de nalguns dias em que houve problemas nas medições. Após esta análise foi feita uma contagem para se identificar quais são os intervalos de ruído mais frequentes.

Numa segunda fase recorreu-se a estatística Inferencial. Nesta, procuraram-se relacionar os níveis de ruído com a hora do dia, com a duração da aula e com o dia da semana. Assim ficaremos com uma ideia de que horas serão mais problemáticas, bem como, se o nível de ruído é afectado pela duração da aula ou pelo dia da semana.

4.1. Sala A

Apresenta-se de seguida uma tabela, que nos indica os valores médios de *Leq* por cada aula, a amplitude máxima e mínima, bem como todos os desvios padrão e o valor

MaxP registado por aula. Os valores apresentados correspondem as medidas de tendência central e dispersão relativas ao nível sonoro contínuo equivalente (L_{eq}). Devido ao grande Volume de dados registados, optou-se por demonstrar apenas uma semana de resultados, para consultar a totalidade dos dados nas duas salas ver anexo 2.

Tabela 3. Medidas de tendência central e de dispersão do L_{eq}

Dia	Hora	Nº Alunos	Mínimo (dB)	Máximo (dB)	Amplitude (dB)	L_{eq} (dB)	S	Máx P (dB)
23-02 3ª f	8:30 - 10:00	20	46,20	83,70	37,50	67,99	13,38	108,40
	10:20 - 11:05	21	54,60	80,30	25,70	67,73	7,55	105,20
	11:05 - 11:50	21	51,60	79,90	28,30	71,86	7,93	102,40
	12:00 - 13:30	27	51,40	78,80	27,40	65,95	7,44	109,50
	14:30 - 15:15	20	51,50	79,50	28,00	73,69	6,52	104,20
	15:30 - 17:00	21	48,50	81,40	32,90	68,43	8,31	108,20
24-02 4ª f	8:30 - 9:15	21	64,70	77,30	12,60	71,81	3,01	105,70
	9:15 - 10:00	21	66,00	82,30	16,30	74,67	3,70	104,60
	10:20 - 11:50	27	53,90	86,50	32,60	73,83	6,32	108,70
	12:00 - 13:30	20	56,50	74,90	18,40	66,41	8,29	103,50
25-02 5ª f	8:30 - 10:00	27	45,80	79,20	33,40	69,14	8,92	105,00
	10:20 - 11:05	27	54,90	83,20	28,30	72,42	5,94	108,00
	12:00 - 13:30	27	48,00	83,90	35,90	74,39	10,01	110,00
	13:45 - 15:15	21	50,90	80,50	29,60	71,40	6,81	104,10
	15:30 - 17:00	26	44,30	71,90	27,60	59,86	15,70	99,40
26-02 6ª f	8:30 - 10:00	21	62,90	81,10	18,20	73,75	3,92	106,20
	10:20 - 11:50	27	53,60	86,90	33,30	72,00	11,96	110,70
	12:00 - 12:45	25	60,70	86,40	25,70	76,07	14,12	108,30
	12:45 - 13:30	27	51,20	81,90	30,70	67,45	11,80	104,90
	14:30 - 15:15	28	55,80	79,50	23,70	51,50	9,29	109,60
	15:30 - 17:00	24	47,00	74,70	27,70	62,75	8,55	107,20

Como se pode verificar na tabela, o número mínimo de alunos é de 20 e o máximo de 28. Este parâmetro foi apresentado com o intuito de poder relacionar possíveis relações do número de alunos com o nível de ruído.

Relativamente ao valor mínimo absoluto de L_p registado na sala, obteve-se 41,1 dB no dia (03 de Março no período de 9:15h-10:00h), um valor demasiado baixo, aproximadamente semelhante aos períodos em que não houve quaisquer aula.

Como valor máximo registou-se 88,4 *dB* no dia (12-03 no período das 10:20h-11:50h). De notar que o valor mínimo foi registado numa turma de 21 alunos e o máximo para 27 alunos.

Registou-se uma amplitude mínima de 10,9 *dB* no dia (11 de Março no período das 8:30h-10:00h) e uma máxima de 44,6 no dia (04 de Março no período da 13:45h-15:15).

O valor médio de ruído equivalente (*Leq*) como anteriormente referido é uma media logaritmica dada pela equação 2. Contabilizando os valores registados por minuto obteve-se um mínimo de 49,30 *dB* no dia (19 de Março no período das 12:45h-13:30h), e um máximo de 77,70 *dB* no dia (02 de Março no período 14:30h-15:15h).

Relativamente ao desvio padrão obtiveram-se alguns desvios interessantes, com valores de cerca de 2, mas na sua generalidade registaram-se valores altos superiores a 10. O valor mínimo encontrado situa-se nos 2,21 no dia (18 de Março no período da manha das 8:30h-10:00h), ao invés como valor mais alto registaram-se 17,16 no dia (16 de Março no período das 12:00h-13:30h).

De seguida é apresentado um gráfico com as médias de *Leq* em função da hora e do dia, na sala A, durante o período de medição.

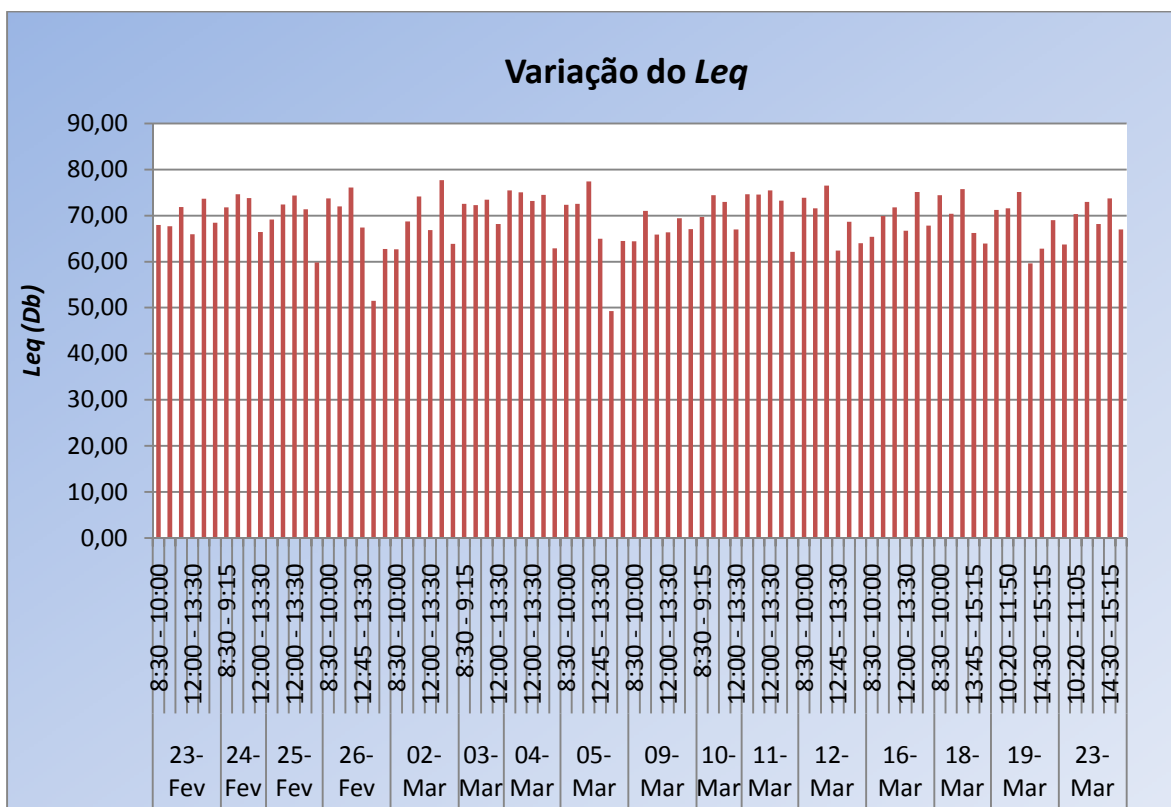


Gráfico 1 – Valores de Leq durante o período de medição

O Gráfico 2 apresenta o Leq médio da sala A em função do ano lectivo da Amostra. Com vista a perceber a relação entre o nível de ruído entre anos de escolaridade diferentes fez-se uma media aritmética de todos os valores de turmas do mesmo ano.

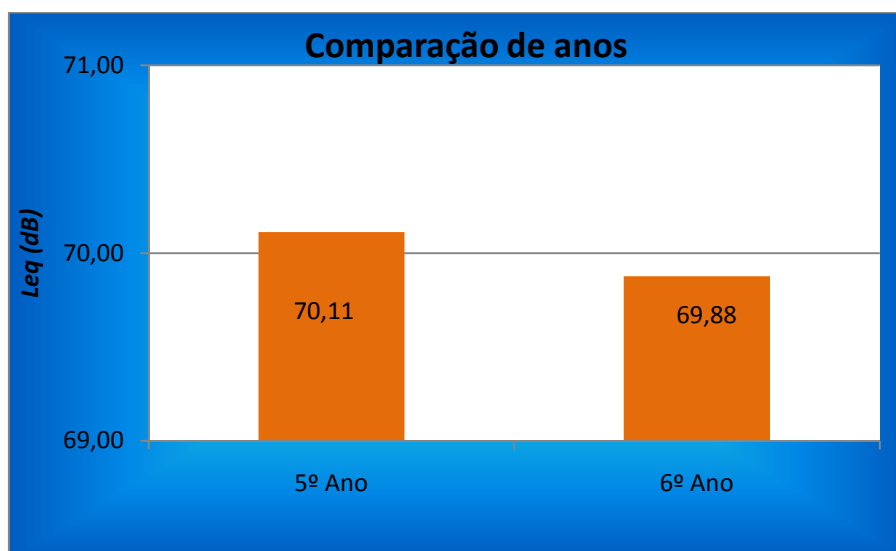


Gráfico 2 Relação do ano escolar com o Leq.

Para poder descrever numa forma quantitativa o ambiente de ruído presente nas salas de aula, foi desenvolvido um processo que visa quantificar vários intervalos de pressão sonora. Uma vez que esta duplica de 6 em 6 *dB*, faz sentido registar o número de ocorrências em intervalos de 6 unidades. Assim, estabeleceu-se como um mínimo 50 *dB* e um máximo idêntico ao registado em cada sala de aula, neste caso para a Sala A, um nível de pressão de 92 *dB*. Obtiveram-se os seguintes resultados:



Gráfico 3 – Numero de ocorrências por hora durante o período de medição.

Para avaliar a percentagem de casos nos diferentes intervalos de nível de ruído elaborou-se o seguinte gráfico

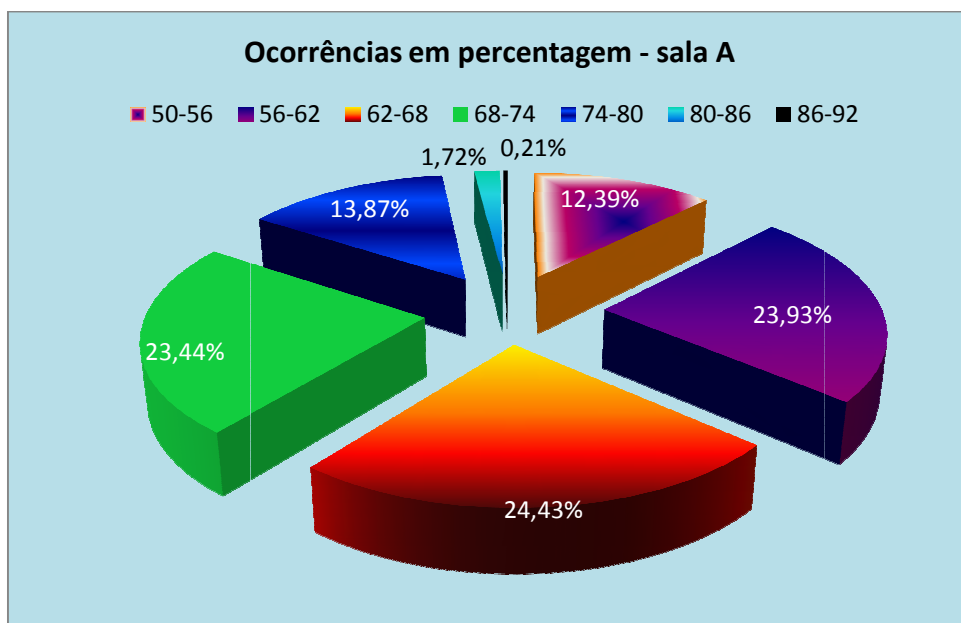


Gráfico 4 Percentagem de ocorrências por hora

Como se pode verificar através dos 2 gráficos, o intervalo de pressões predominante é o de 56-74 *dB*, representando 72 % de todas as ocorrências verificadas. O intervalo de 74-80 *dB* representa, contudo, uma percentagem relativamente pequena (14%), no entanto, já é uma gama relativamente elevada para que se possa proporcionar um ambiente calmo para se leccionar uma aula.

4.2. Sala B

Para nos ajudar a compreender todas as medições registadas nesta sala consulta-se a seguinte tabela:

Tabela 4 - Medidas de tendência central e de dispersão do Leq

Dia	Hora	Nº de Alunos	Mínimo (dB)	Máximo (dB)	Amplitude (dB)	Média (Leq (dB))	S	Máx P (dB)
23-02-3ª f	8:30 - 10:00	21	52,50	77,10	24,60	68,86	6,37	103,40
	10:20 - 11:50	21	53,70	77,50	23,80	66,83	4,85	104,70
	12:00 - 12:45	27	46,70	76,80	30,10	69,00	13,74	98,30
	14:30 - 15:15	27	45,00	64,40	19,40	55,28	4,77	95,20
	15:30 - 16:15	21	60,80	84,30	23,50	72,15	7,74	112,20
24-02-4ª f	8:30 - 10:00	21	48,90	83,50	34,60	69,54	8,21	113,40
	10:20 - 11:50	21	63,30	85,20	21,90	74,02	4,44	110,90
	12:00 - 12:45	21	64,40	79,90	15,50	73,43	3,48	107,50
25-02-5ª f	8:30 - 10:00	21	59,70	88,10	28,40	74,78	5,05	98,10
	10:20 - 11:50	21	56,00	85,80	29,80	72,89	7,07	99,90
	12:00 - 12:45	21	63,00	81,70	18,70	72,83	3,99	99,50
	14:30 - 15:15	21	59,80	80,50	20,70	70,78	5,11	100,20
	15:30 - 17:00	27	53,90	91,50	37,60	75,72	11,66	101,70
26-02-6ª f	8:30 - 10:00	21	63,50	90,90	27,40	77,61	6,67	95,20
	10:20 - 11:50	25	68,70	98,30	29,60	82,35	6,24	95,70
	12:00 - 13:30	21	62,40	86,20	23,80	75,48	3,73	95,80
	13:45 - 15:15	27	58,20	94,00	35,80	82,41	9,98	97,90
	15:30 - 16:15	27	78,10	106,20	28,10	92,38	7,08	105,50

Nesta sala as turmas compreendem 21 a 27 alunos. Registou-se um valor mínimo de ruído (L_p) de 44,70 dB no dia (09 de Março no período das 12:00h-12:45h), e um valor máximo significativamente alto cerca de 112,20 dB no dia (12 de Março na primeira aula do dia das 8:30h-10:00h).

Relativamente a amplitude, verificou-se um valor mínimo de 9,40 dB no dia (23 de Março na ultima hora do dia - 15:30h-16:15h) e um valor máximo de 41,20 dB para o dia (12 de Março das 8:30h-10:00h).

Para o valor médio de ruído equivalente obtiveram-se um mínimo de 55,28 dB no dia (23 de Fevereiro no intervalo das 14:40h-15:15h) e um máximo, cerca de 93,16 dB no dia (12 de Março das 8:30 as 10:00h).

Obteve-se como desvio mínimo 2,25 no ultimo dia de medições (23 de Março na ultima hora do dia 15:30h-16:15h. Obteve-se um desvio máximo de 14,40 no dia (12 de Março durante a primeira aula 8:30h-10:00h).

Registraram-se valores extremos de *MaxP*, mínimo de 92,80 dB no dia (16 de Março na aula decorrente das 14:30h-15:15h) e um máximo de 113,90 dB para o dia (11 de Março no período das 10:20h-11:50h).

O dia 12 de Março na primeira hora do dia (8:40h-10:00h), aparenta ser um dia crítico. Pois nesse, coexistem vários máximos registados durante o período de medições. Obteve-se valores máximos de *Lp*, amplitude máxima, valor mais alto de *Leq* e um valor máximo de desvio padrão. Talvez por ser a primeira hora do dia, ajude a explicar parte destes valores, mas foi sem dúvida um dia atípico.

De seguida é apresentado um gráfico com as médias de *Leq* em função da hora e do dia, na sala B, durante o período de medição.

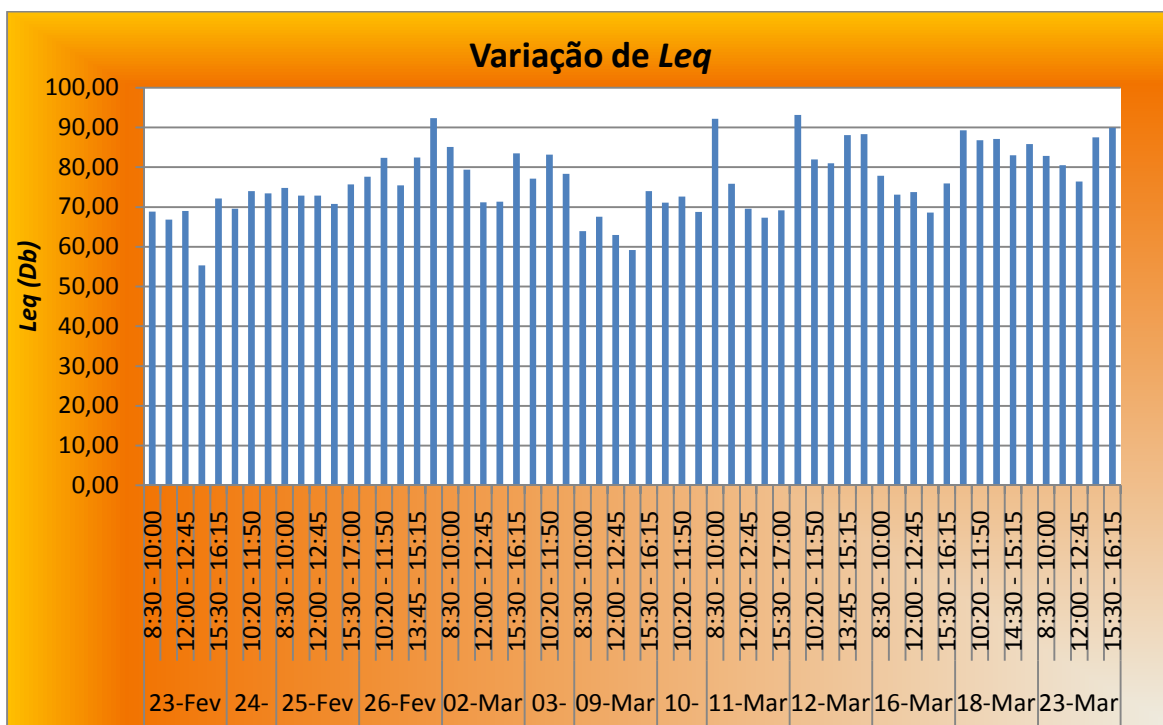


Gráfico 5 - Valores de *Leq* durante o período de medição

De uma forma análoga ao procedimento para a sala A, fez-se uma média aritmética de todos os valores de *Leq* em turmas do mesmo ano, para perceber a relação

entre o nível de ruído entre anos de escolaridade diferentes, como mostra o gráfico seguinte:

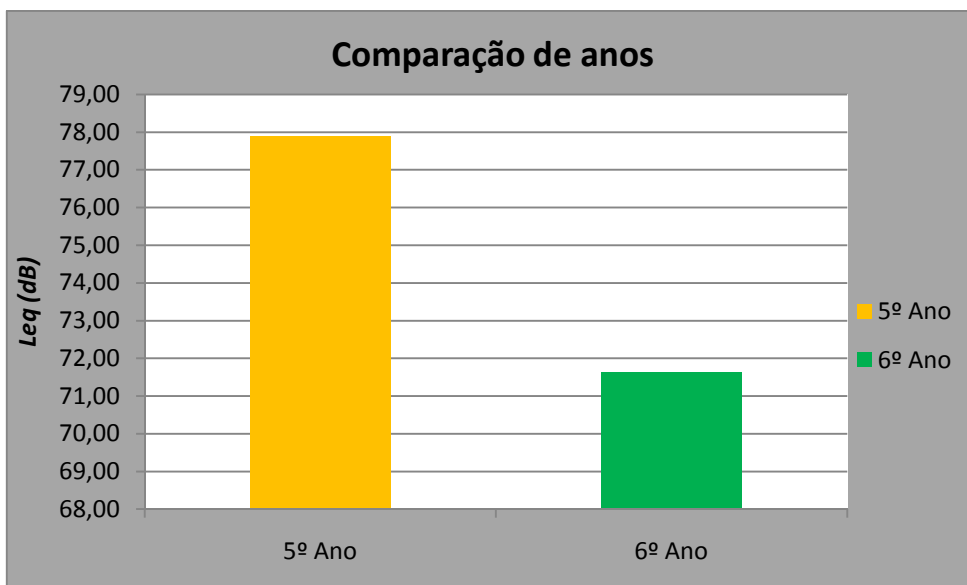


Gráfico 6 - Relação do ano escolar com o Leq.

Relativamente ao número de ocorrências houve necessidade de alargar o intervalo feito anteriormente para a sala A, pois registaram-se algumas incidências de níveis de pressão 98dB-104dB, e inclusive 110dB-116dB. De seguida apresentam-se os resultados:

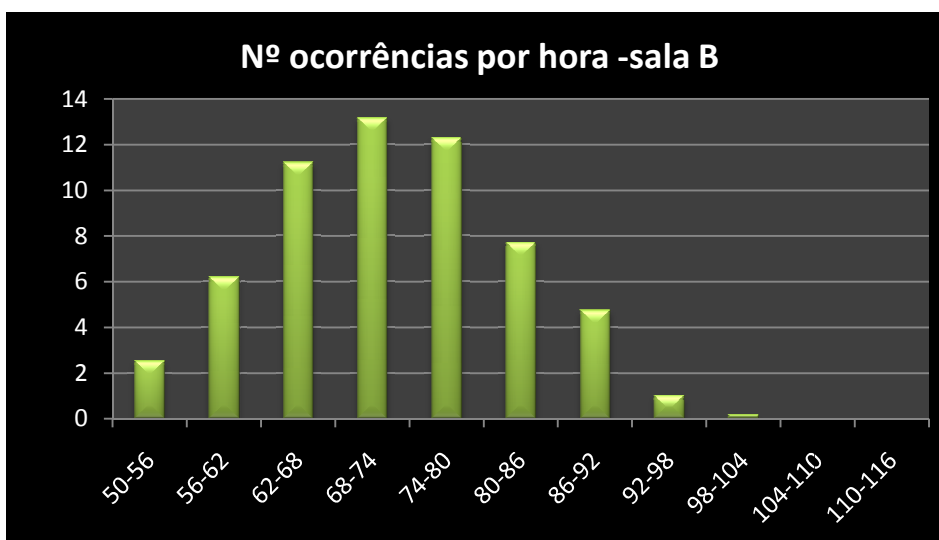


Gráfico 7 - Numero de ocorrências por hora durante o período de medição.

Para complementar a informação disponibilizada no Gráfico 7, construiu-se um novo gráfico com a percentagem de ocorrências dos intervalos de ruído.

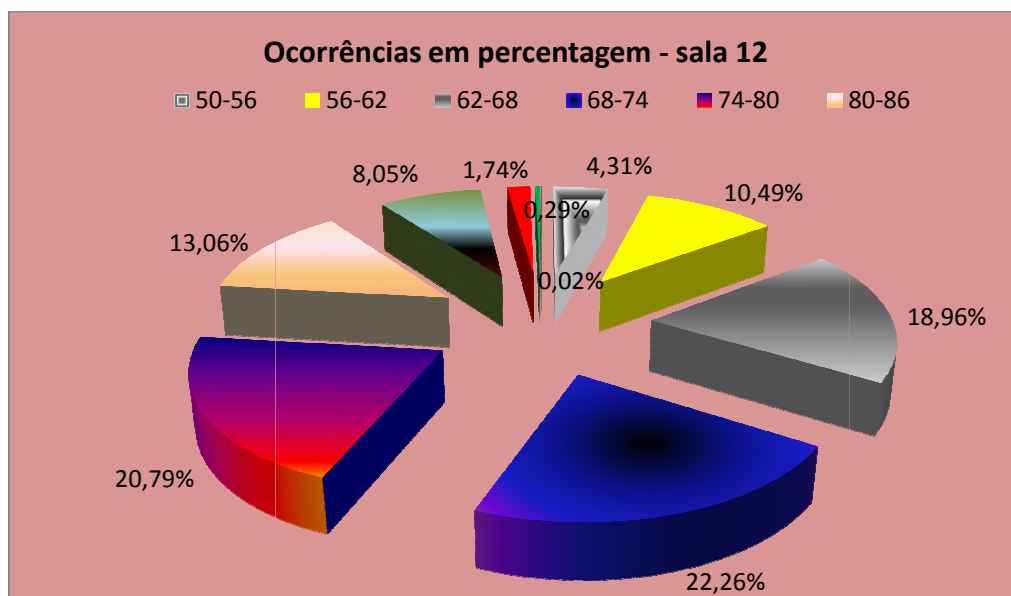


Gráfico 8 - Percentagem de ocorrências por hora

Analogamente ao que se passa na sala A, registaram-se gamas de valores aproximadamente idênticas nesta sala. A gama 62-80 dB, regista 62 % de todas as ocorrências. O intervalo 80-86dB contém cerca de 13% dos dados, e os restantes apresentam quantidades residuais.

4.3. Comparação das Salas A e B

Para se efectuar a comparação entre salas no que ao ruído diz respeito, foram calculados os valores médios de *Leq* e de *MaxP*. Repetiu-se o procedimento para o cálculo das médias relativamente às turmas. Para ajudar a compreensão e leitura dos dados são apresentados alguns gráficos de seguida:

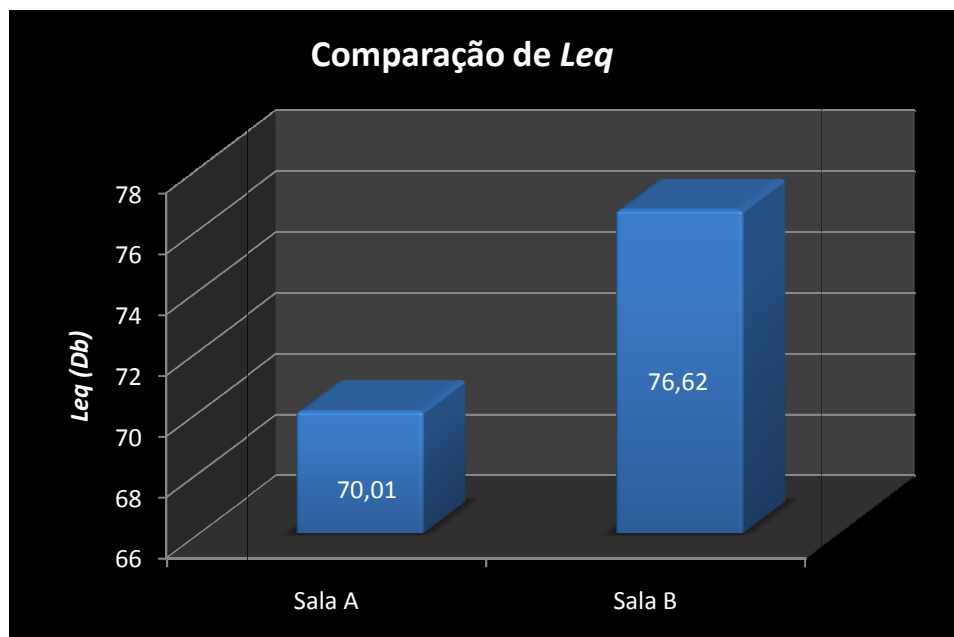


Gráfico 9 – Comparação de Leq entre as duas salas

Como se pode verificar o nível médio de ruído é bem mais alto na sala B, uma diferença superior a $6dB$, o que se pode concluir que os alunos da sala B estão sujeitos ao dobro da pressão sonora relativamente aos da sala A. A sala A apresentou uma média de ocupação de 24,68 (alunos e professor), e a sala B 23,86 (alunos e professor). Um facto que não deixa de ser curioso, uma vez que a sala onde haveria mais probabilidade de haver ruído apresenta um valor menor de *Leq*. Tal facto pode ser explicado pelo tipo de disciplina dada na sala A. Como já foi referido, é uma sala destinada ao lecionamento da disciplina Ciências da Natureza, onde se supõe que os alunos estejam em grupo, dada a disposição de mesas. Talvez pelo facto de se realizarem experiências, o que leva a uma maior curiosidade e concentração da parte dos alunos, ou então a própria qualidade dos professores poderá mudar o tipo de comportamento dos discentes. O facto de a sala B estar rodeada por outras salas onde se encontram turmas do 1º ciclo (3º e 4º anos), também pode ajudar a explicar o facto. Outra possível razão, é o ano escolar, isto porque enquanto que na sala A há uma distribuição mais homogênea por turmas de anos diferentes, na sala B o 5º ano tem predominância. Esta razão poderá ser confirmada através das análises posteriores em que se comparam os anos de escolaridade e as salas em simultâneo.

O facto da sala B estar mais próxima de uma zona de circulação de veículos, poderá também influenciar a medição do *Leq*, uma vez que o ruído exterior contribui

directamente e indirectamente para o ruído global. Contudo, não é possível confirmar esta informação, uma vez que podem existir vários factores em jogo, apesar de as salas serem iguais. Um deles é certamente a habilidade de o professor conseguir controlar o acentuado ruído por parte dos alunos. A circulação de pessoas na periferia das salas pode também afectar o nível de pressão sonora.

De seguida foi feita uma comparação entre picos de pressão entre as salas tendo obtido os seguintes resultados:

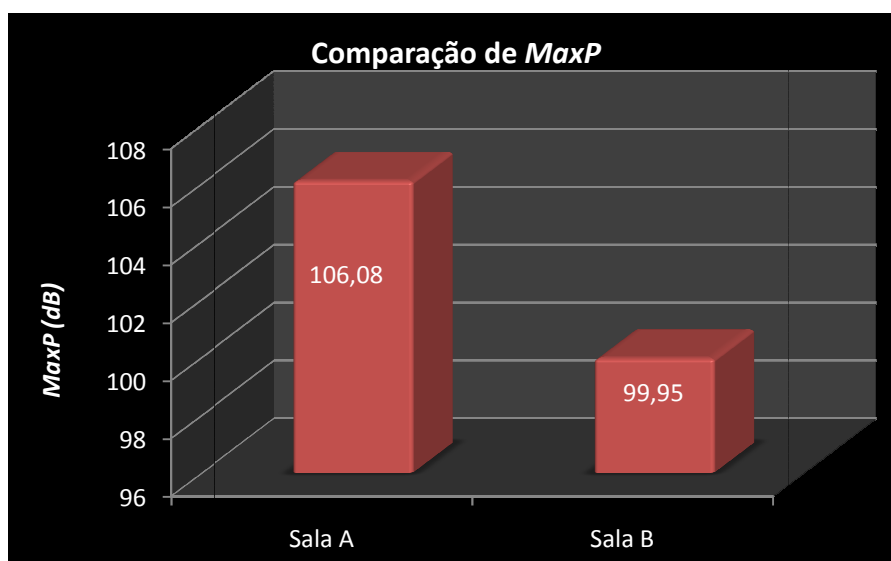


Gráfico 10 – Comparação de valores de *MaxP* entre as salas

Ao invés, nos valores de *MaxP*, verifica-se uma conclusão oposta a anterior, a sala A regista valores mais altos que a B. A razão para este facto, é explicada por haver mais ruídos impulsivos do que sala B, que não afectam directamente o valor médio de *Leq*.

Finalmente para se ter uma apreciação global dos dados registados nas duas salas, é ilustrado um gráfico que compara dentro de cada sala as turmas. Este é apresentado de seguida:

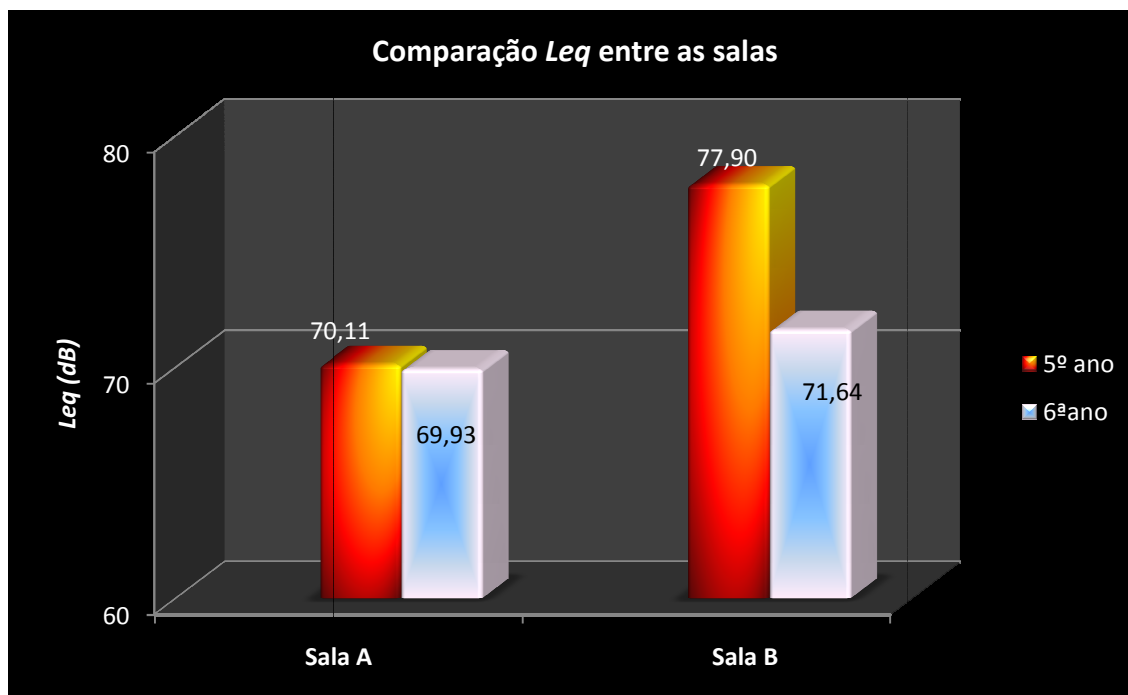


Gráfico 11 – Comparação do Leq médio em e o ano escolar das salas A e B.

Este gráfico dá alguma viabilidade à hipótese considerada para explicar a diferença de ruído nas duas salas. Como se pode verificar, é possível concluir que o 5º Ano é mais ruidoso que o 6º. Esta condição verifica-se em ambas as salas. A diferença de ruído é bem mais significativa na sala B (cerca de 6 dB). Uma possível razão para este facto, é que as turmas do 6º ano na sala B são poucas comparativamente com a outra sala. Enquanto que na sala A, o numero de turmas está relativamente bem distribuído pelos 2 anos, na sala B, as turmas do 5º ano têm predominância.

4.4. Hipóteses em análise

Hipótese 1: “A duração da aula tem influência no valor de Leq ”

Para a realização deste teste consideraram-se 2 colunas, cada uma com a duração da aula respectiva (90 e 45 min). Devido à grande diferença de dados obtidos para as duas salas, optou-se por calcular as médias semanais para cada duração de aula. O quadro seguinte ilustra os resultados do teste Anova:

Tabela 5 – Análise do nível de variância na duração da aula.

<i>Leq</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,49	1	3,49	0,11	0,74	4,41
Dentro de grupos	568,32	18	31,57			
Total	571,81	19				

Como é possível verificar pela Tabela 5, analisaram-se 20 dados (quatro semanas mais um dia para cada sala). O valor de F - 0,11 é inferior ao valor de F_{crit} - 4,41, e o valor de p sendo 0,74, é superior ao valor imposto 0,05, não sendo possível rejeitar a hipótese nula.

Hipótese 2 : “ *As horas ao longo do dia têm influência sobre o Leq*”

Neste teste, todas as aulas de 90 min foram calculadas para 45 min, de forma a uniformizar todos os dados. Consideraram-se os valores médios semanais de *Leq* para cada período de aula, assim, por exemplo, havendo 4 aulas por semana, no período das 8:15h-9:00h, calculava-se a média destas, dando-nos o valor semanal naquele período. Uma vez que nas salas de aula analisadas, há muitas diferenças de horários optou-se por fazer a análise separadamente para cada uma destas, tendo chegado às seguintes conclusões:

Sala A

Tabela 6 – Análise do nível de variância nas horas do dia

<i>Leq</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	376,58	9	41,84	12,73	4,89E-08	2,21
Dentro de grupos	98,63	30	3,29			
Total	475,22	39				

O valor de F - 12,73 é substancialmente superior ao $F_{critico}$, o que permite rejeitar a hipótese nula, viabilizando assim a hipótese considerada. Fazendo uma média dos valores semanais de *Leq*, é possível verificar que os primeiros 45 minutos de aula, são geralmente mais ruidosos que os segundos, e verifica-se também uma diminuição de ruído

ao longo do dia, embora as horas a seguir ao intervalo para almoço, tenham valores altos de ruído.

Sala B

Nesta sala, houve necessidade de excluir os dados das horas do almoço, isto porque, só à sexta-feira havia aulas no período das 12:45h – 14:30h, e houve alguns problemas de medição em duas sextas-feiras. Devido aos poucos dados neste período, não se justificava obter qualquer relação com o nível de ruído. De seguida apresenta-se a tabela com os resultados obtidos:

Tabela 7 - Análise do nível de variância nas horas do dia

<i>Leq</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	363,92	7	51,99	2,07	7,80E-02	2,33
Dentro de grupos	752,52	30	25,08			
Total	1116,44	37				

Verifica-se que o valor $F = 2,07$ é ligeiramente inferior ao $F_{\text{crítico}}$, o que não permite rejeitar a hipótese nula, ou seja não há uma relação entre a hora do dia com o nível de ruído nesta sala de aula.

Hipótese 3 : “ *O dia da semana, têm influência sobre o Leq*”

Para o teste desta hipótese, consideraram-se os valores médios do nível de ruído para cada dia da semana. O número de aulas em cada dia da semana era bastante diferente em cada sala de aula, pelo que houve necessidade de separar estas. Obteve-se:

Para a sala A

Tabela 8 - Análise do nível de variância no dia da semana

<i>Leq</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	30,86	3	10,29	9,36	1,82E-03	3,49
Dentro de grupos	13,18	12	1,10			
Total	44,04	15				

Uma vez que o valor de F é superior ao valor de $F_{\text{crítico}}$, pode-se rejeitar a hipótese nula, o que quer dizer que existe uma relação entre o dia da semana e o nível de ruído nesta sala de aula.

Sala B

Tabela 9 - Análise do nível de variância no dia da semana

<i>Leq</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	190,59	3	63,53	1,47	0,29	3,86
Dentro de grupos	388,65	9	43,18			
Total	579,24	12				

Constata-se que o valor de F é inferior ao $F_{\text{crítico}}$, não sendo possível concluir que haja qualquer relação entre o dia da semana e o nível de ruído.

5. CONCLUSÕES

A presente dissertação teve como objectivo a análise e estudo do ambiente sonoro que se vive nas salas de aula do ensino básico, em Portugal. O estudo foi baseado em medições de níveis sonoros e testes de hipóteses, em duas salas de aula, frequentadas por alunos do 5º e 6º anos.

O **nível de pressão sonora** registado na sala A, teve um valor mínimo de 49,30 dB e um máximo de 77,70 dB, sendo 69,92 dB o valor médio. Na sala B, o *Leq* situou-se entre os 55,28 dB, e os 93,16 dB, registando uma média de 76,62 dB.

De acordo com a legislação em vigor o valor máximo admissível para zonas sensíveis é de 55 dB. Perante este facto conclui-se que o nível médio de ruído dentro das duas salas ultrapassa bastante os valores estipulados, prejudicando as condições de aprendizagem dos alunos e de ensinamento, dos professores.

Relativamente à comparação do *Leq* por anos lectivos, constatou-se que as turmas dos 5º anos, em ambas as salas são mais ruidosas que as dos 6º anos. Tal facto pode justificar-se devido aos mais jovens terem uma maior aptência para comportamentos ruidosos, tais como: brincar, elevar o tom de voz, não obedecer ao professor etc... Contudo, na sala B, regista-se uma diferença significativa entre alunos do 6º e 5º anos, cerca de 6 dB. Este facto, como já foi explicado no capítulo 4, poderá dever-se à distribuição das turmas pelas duas salas. Enquanto para a sala A, as turmas do 5 e 6º anos são aproximadamente as mesmas, na sala B há muito mais turmas do 5º ano do que do 6º contribuindo, possivelmente, para esta diferença.

No que ao valor da **pressão máxima de pico** diz respeito, constatou-se que os valores na sala A 106,08 dB são superiores aos da sala B 99,95 dB. Tal facto permite concluir que não existe uma relação entre esta variável e o nível da pressão sonora, pois este apresentou resultados opostos. Uma possível explicação, é a maior existência de ruídos impulsivos na sala A. Ambos os valores apresentam valores energéticos bastante altos, pelo que, não favorece em nenhum aspecto a realização de uma aula em condições “normais”.

Em termos de ocorrências, as salas têm um comportamento semelhante designadamente, a sala A apresenta a maioria das ocorrências no intervalo de 56-74 *dB* (cerca de 72% de ocorrências) e a sala B no intervalo de 62-80 *dB* (cerca de 62%).

A relação Sinal ruído, como já foi explicado no capítulo 2, é uma característica que permite avaliar a inteligibilidade do discurso. Quanto maior for esta relação, melhor é a inteligibilidade. Valores acima de 10 *dB* já garantem uma percepção do discurso perfeitamente normal. Para que tal se verifique em ambas as salas, face ao ruído existente, o professor teria que dar as lições com 87 *dB* de intensidade, um valor extremamente elevado que irá pôr em risco o estado de saúde do mesmo. Para além deste facto os alunos mais afastados do professor teriam mais dificuldades em perceber toda a lição, uma vez que o nível de voz vai decrescendo com a distância.

Foram colocadas algumas hipóteses para procurar relacionar algumas variáveis com o valor do nível de ruído equivalente. Para esta técnica utilizou-se o método ANOVA para verificar se as hipóteses teriam algum fundamento.

Na primeira hipótese procurou-se testar se a duração da aula teria alguma relação com o nível de ruído equivalente. Chegou-se à conclusão que, sendo o F igual a 1,10 inferior ao F_{critico} 3,92 não seria possível rejeitar a hipótese nula. Desta forma não existem diferenças significativas entre as médias dos dados considerados, ou seja não há relação entre a duração das aulas com o nível de ruído equivalente.

Na segunda hipótese havia a necessidade de perceber se a hora do dia influenciava o nível de ruído equivalente. Devido á grande diferença de horários nas salas, foi necessário separar estas e fazer uma análise individualmente para cada uma.

Relativamente à sala A, registou-se um F de 12,73 superior ao F_{critico} de 2,21. Tal facto permite rejeitar a hipótese nula tendo a nossa hipótese mais probabilidade de acontecer. Portanto, concluiu-se que a hora do dia, para este caso, influencia o nível de ruído.

Na sala B, obteve-se um F de 2,07 inferior ao F_{critico} de 2,33 não sendo possível rejeitar a hipótese nula. Conclui-se que não existe relação entre as horas do dia e o nível de ruído.

Perante os valores obtidos para a segunda hipótese, verifica-se para a sala A, uma relação entre as horas ao longo do dia com os níveis de pressão sonora. Por análise gráfica, verifica-se que por cada período de 90 minutos, os primeiros 45min são mais

ruidosos. Tal facto pode ser justificado pela tendência ruidosa que os alunos possuem quando regressam às salas de aula após os intervalos.

Relativamente à terceira hipótese, constatou-se que o dia da semana têm uma relação com o nível de ruído, apenas na sala A. Através de um gráfico foi possível verificar que o primeiro e o ultimo dia da semana têm um ambiente menos ruidoso que os dias intermédios. Este facto é curioso, pois seria mais lógico o contrario dada a proximidade do fim de semana, contudo, na quarta e quinta feira poderão haver actividades, ou professores que tenham mais dificuldades em controlar os seus alunos o que leva a um aumento do nível de ruído.

Em suma, as condições acústicas dos edifícios escolares apresentam algumas deficiências. A geometria da sala, os materiais utilizados na sua construção, a quantidade e disposição do material constituinte da mesma não são devidamente ponderados para a principal função que estes edifícios são concebidos. É importante que, na fase de construção dos edifícios escolares, se faça previamente uma avaliação acústica contabilizando todos os materiais, lotação máxima para a sala, forma e disposição quer dos materiais quer dos alunos. Deve-se ainda ter em conta todos os parâmetros acústicos que medem a qualidade acústica, como o tempo de reverberação, relação sinal ruído, ruído de fundo EDT, entre outros. Além disto, deve-se fazer um estudo internacional das escolas, perceber as vantagens que estas têm face às nacionais e implementar as medidas necessárias e possíveis para os nossos edifícios.

Sugerem-se mais iniciativas, mais acções de formação que procurem consciencializar as pessoas para as possíveis consequências de um mau acondicionamento acústico num sector fundamental que é a educação e a formação de um indivíduo.

Para finalizar, espero ter dado uma boa contribuição para o melhoramento das condições acústicas das salas de aula e que este tema seja encarado com mais seriedade e responsabilidade para que as gerações futuras possam ter as melhores condições de ensino.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, B. S. T. (2003) – *O uso da teoria do sistema nebuloso na avaliação da interpretação subjectiva de estímulos sonoros*, 63f. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ANSI standard 12.60 (2002) – Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools.

AZEVEDO R, LIMA M L. (2002) – Componentes psicossociais do ruído. *As medições cognitivas do ruído em diferentes grupos profissionais*. 1º Colóquio Psicologia Espaço e Ambiente. Universidade de Évora 9-10 Maio.

BENTLER, R. A. (2000) – *List equivalency and test-retest reliability of the speech in noise test*. Am. J. Audiol., v. 9, n. 2, p. 84-100.

BISTAFA, SYLVIO R. (2006) – *Acústica aplicada ao controle do ruído*. São Paulo: Edgard Blücher.

BRÜEL & KJAER. (1978) – *Architectural acoustics*. 2ed. USA: Brüel & Kjaer. p. 170.

BRUEL & KJAER (2001) – *Environmental noise*. Dinamarca, p. 67.

BRÜEL & KJAER. (2005) – *Application Note: measuring speech intelligibility using DIRAC- Type 7841*. In: Catálogo técnico, Brüel & Kjaer Instruments, Chicago, Illinois, USA.

BUTLER, K. (1975) – *Auditory Perceptual Skills: Their measurement and Remediation with Preschool and School-age children*. Paper presented in American Speech Language Hearing Association Convention. Washington, D. C.

CARMO, L. I. C. (1999) *Efeitos do Ruído Ambiental no Organismo Humano e suas Manifestações Auditivas*. Goiânia. Dissertação (Especialização em Audiologia Clínica) do Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica – CEFAC.

CELANI, A. C.; BEVILACQUA, M. C.; RAMOS, C. R. (1994) – *Ruído em escolas*. Pró-fono, p. 1-4.

DANIEL, R. C.; COSTA, M. J.; OLIVEIRA, T. M. T. (2003) – *Reconhecimento de fala no silêncio e no ruído em crianças com e sem histórico de repetência escolar*. São Paulo:

- Pancast; Fono atual, Ano 6 n° 26, p. 35-41.
- DAY, C. W. (1996) – *Sounding Off*’. AS&U’s Tech Talk column. KBD Planning Group, Bloomington.
- DREOSSI, RAQUEL CECÍLIA FISCHER (2004) – *A Interferência do ruído na aprendizagem*. Revista Psicopedagogia, São Paulo, v. 2, n° 64, p. 38-47.
- EGAN, M. DAVID (1988) – *Architectural Acoustics*. New York: McGraw-Hill. p. 411
- ENIZ, A.; GARAVELLI, S. S. L. (2006) – *A contaminação acústica em ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal, Brasil*. Holos Environment, v. 6, n. 2, p. 137.
- EVANS, G. W.; MAXWELL, E. L. (2000) – *The Effects of Noise on Pre-Scholl Children’s Pre-Reading Skills*. Journal of Environmental Psychology, v. 20, p. 91-97.
- EVEREST, F.A. (2001) – *Master handbook of acoustics*. 4.ed. Melville, New York, USA: McGraw-Hill. 616 p.
- FASOLD, W.; VERES, E. (2003) – *Schallschutz und Raumakustik in der Praxis*. Planungsbeispiele und Konstruktive Lösungen. Huss-Medien GmbH, Verlag Bauwesen, Berlin.
- FERNANDES, J.C. (2000) – *Inteligibilidade Acústica da Linguagem*. Apostila do Curso de Inteligibilidade Acústica da Linguagem oferecido durante o XIX Encontro da SOBRAC – Sobrac, Belo Horizonte. p. 54.
- FERNANDES, J.C. (2006) – *Padronização das condições acústicas para salas de aula*. Congresso de XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil.
- FIORINI, A C. (1994) – *A importância do monitoramento audiométrico no programa de conservação auditiva*. Revista de Acústica e Vibrações. Vol. 13, Julho, p. 95
- GERGES, S. (2000) – *Ruído, fundamentos e controle*. 2 ed. NR Editora.
- GERGES, SAMIR N.Y. (1992) – *Ruído: Fundamentos e Controle*, 1ª ed., Florianópolis.
- GUCKELBERGER, D. A. (2003) – *New Standard for Acoustics in Classroom*. Engineers Newsletter, v. 32, n. 1,
- GUIMARÃES, R.C., CABRAL, J.A.S. (1997) – *Estatística, McGraw-Hill de Portugal*, ISBN 972-8298,45-5.
- HODGSON, M. (2001) – *Empirical Prediction of Speech Levels and Reverberation in Classrooms*. Building Acoustics, v.8, n.1, p. 1-14.

- IIDA, ITIRO (2005) – Ergonomia – Projecto e produção. 2ª Edição revisada e ampliada, São Paulo: Edgard Blücher.
- KNUDSEN, V.O.; HARRIS, C. M. (1988) – *Acoustical Design in Architecture*. New York: J. Willey. p. 457.
- LUBMAN, D.; SUTHERLAND, L. C. (2003) – *Good classroom acoustics in a good investment*. Classroom Acoustics, p. 1-2, (Papers).
- MATEUS, D. (2008) – “*Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído*”, Coimbra.
- MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. (1999) – *Architectural acoustics: principles and design*. Columbus: Prentice Hall. P. 446.
- MEYER SOUND LABORATORIES. (1998) – *Speech intelligibility of the faculty assembly hall Meyer Sound Laboratories*. Speech Intelligibility Papers Sections 1, 2, 3 and 4,
- MORAES, A. G.; REGAZZONI, R. D. (2002) – *Perícia e avaliação de ruído e calor passo a passo – Teoria e prática*. Rio de Janeiro.
- NÁBĚLEK, A.; NÁBĚLEK, I. (1997) – *Acústica da sala e a percepção da fala*. In : Kartz J. Tratado de Audiologia clínica. São Paulo: Manole: Manole. p.617-30.
- NEPOMUCENO, L. A. (1994) – *Elementos de acústica e psicoacústica*. São Paulo: Edgar Blüncher. p. 106.
- NETO, J. G. (2001) – *Jornal O Estado de São Paulo*.
- ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DE LA SALUD Y ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE LA SALUD (1980) – *Critérios de la Salud Ambiental*, 12, El Ruído, México, *Public Health Agency of América*.
- PEARSONS, K. S. (1997) – *Speech levels in various noise environments*. Springfield: National Information Service.
- PEUTZ, V.M.A. (1971) – *Articulation loss of consonants as a criterion for speech transmission in a room*. Journal Audio Engeering Society, v. 19, p. 915-919.
- PIMENTEL-SOUZA, F. (1992) – *A poluição sonora ataca traiçoaemente o corpo*, In: Associação mineira de defesa do meio ambiente. **Meio ambiente em diversos enfoques**. Belo Horizonte: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Secretaria Municipal da Educação, p. 24-26.
- REVISTA DE ACUSTICA E VIBRAÇÕES (2002) – edição nº 29, São Paulo, Sobrac.

RUSSO, I.; BEHLAU, M. (1993) – *Percepção da fala: análise acústica do português brasileiro*. São Paulo: Lovise Ltda. p. 57.

SALGADO, A. B. S. (2003) – *Validación de software para predicción de acústica de salas y aplicación al diseño de aulas*. p. 220. Monografía (Proyeto Fin de Carrera)-Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones, Universidad de Vigo, Vigo, Pontevedra, Spain.

SEEP, B.; GLOSEMEYER, R.; HULCE, E.; LINN, M.; AYTAR, P. (2000) – *Classroom acoustics I: A resource for creating learning environments with desirable listening conditions*. Technical Committee on Architectural Acoustics of the Acoustical Society of America. ASA, Melville, NY, USA, p. 28.

SILVA, S.; NASCIMENTO, R. B.; PAGNOSSIM. (2003) – *Reconhecimento de sentenças no ruído em indivíduos normo-ouvintes com diferentes níveis de escolaridade*. São Paulo: Pancast; Fono atual, Ano 6, nº 26, p. 12-20.

WHO, LARES (2004) – *Final Report: Noise Effects and Morbidity*. (Large Analysis and Review of European Housing and Health Status), Berlin: Berlin Center of Public Health.

ANEXO 1 – CONCEITOS DA LEGISLAÇÃO

De acordo com o DL 9/2007 , capítulo I, alínea n) “«Indicador de ruído nocturno (L_n) ou (L_{night})» o nível sonoro médio de longa duração, conforme definido na Norma NP 1730-1:1996, ou na versão actualizada correspondente, determinado durante uma série de períodos nocturnos representativos de um ano;”

No mesmo artigo no capítulo I, na alínea j) é referido “«Indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno (L_{den})» o indicador de ruído, expresso em dB(A), associado ao incomodo global, dado pela expressão:

$$L_{den} = 10 \times \log \frac{1}{24} \left[13 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right],$$

O Decreto-lei 186/2006 artigo 2, alínea b) cita “«Exposição pessoal diária ao ruído», $L_{EX,8h}$, o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, calculado para um período normal de trabalho diário de oito horas (T_0), que abrange todos os ruídos presentes no local de trabalho, incluindo o ruído impulsivo, expresso em dB (A), dado pela expressão:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,T_e} + 10 \log \left(\frac{T_e}{T_0} \right)$$

Em que:

$$L_{Aeq,T_e} = 10 \lg \left\{ \frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} \frac{[p_A(t)]^2}{(p_0)^2} dt \right\}$$

onde T_e é a duração diária da exposição pessoal de um trabalhador ao ruído durante o trabalho, T_0 é a duração de referencia de oito horas (28 800 segundos), $p_A(t)$ é a

pressão sonora instantânea ponderada A, expressa em pascal (Pa), a que está exposto um trabalhador, e p_0 é a pressão de referência $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ pascal = $20\mu Pa$;

O mesmo Decreto-lei no artigo 2.º na alínea d) refere “«Média semanal dos valores diários da exposição pessoal ao ruído», $\bar{L}_{EX,8h}$, a média dos valores de exposição diários. Com uma duração de referência de quarenta horas, obtida pela expressão:

$$\bar{L}_{EX,8h} = 10 \log \left[(1/5) \sum_{k=1}^m 10^{(0,1L_{EX,8h})_k} \right]$$

Em que $(L_{EX,8h})_k$ representa os valores de $L_{EX,8h}$ para cada um dos m dias de trabalho da semana considerada;” Na alínea e) no mesmo artigo refere-se “«Nível de pressão sonora de pico», L_{Cpico} . O valor máximo da pressão sonora instantânea, ponderado C, expresso em dB (C), dado pela expressão:

$$L_{Cpico} = 10 \log \left(\frac{P_{Cpico}}{P_0} \right)^2$$

Em que P_{Cpico} é o valor máximo da pressão instantânea a que o trabalhador está exposto, ponderado C, expresso em pascal;”

No Decreto-lei 96/2008 Artigo 2º alínea b) é referido que “«Isolamento sonoro a sons de condução aérea, padronizado, $D_{2m,nT}$ » - diferença entre o nível médio de pressão sonora exterior, medido a 2 m da fachada do edifício ($L_{1,2m}$), e o nível médio de pressão sonora medido no local de recepção (L_2), corrigido da influencia das condições de reverberação do compartimento receptor, segundo a expressão:

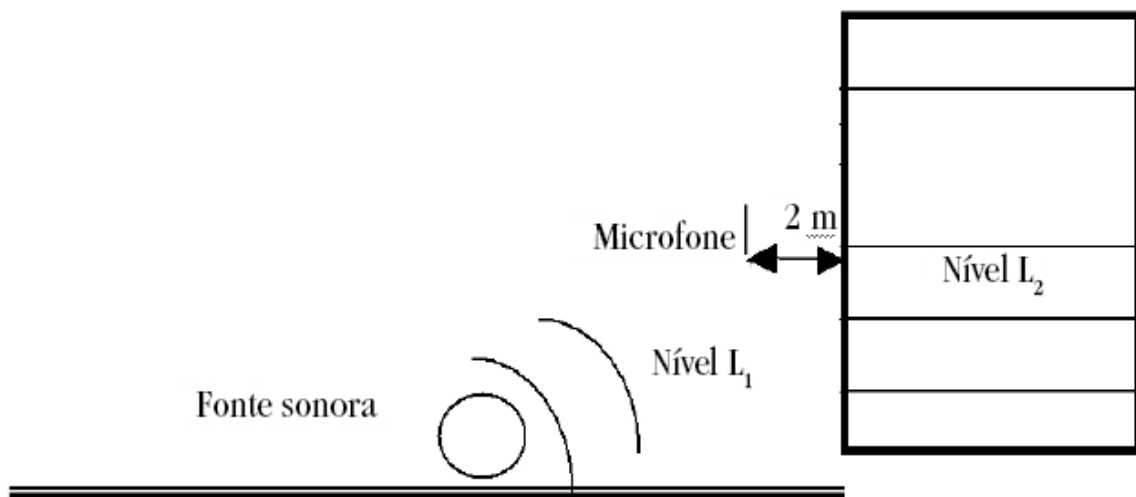
$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log(T/T_0) \text{ dB}”$$

Em que T é o tempo de reverberação do compartimento receptor, em segundos e T_0 é o tempo de reverberação de referência, em segundos; para compartimentos de habitação ou com dimensões comparáveis, $T_0 = 0,5$ s; para compartimentos em que haja tempo de reverberação atribuível em projecto, o valor de referência a considerar será o do respectivo tempo de dimensionamento.

Ainda no mesmo Decreto-lei, no artigo 2º na alínea d) é dito que: “«Nível sonoro de condução padronizado, L'_{nT} » nível sonoro médio L_i medido no compartimento receptor, proveniente de uma excitação de percursão normalizada exercida sobre um pavimento, corrigido da influência das condições de reverberação do compartimento receptor, segundo a expressão:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \text{ Log}(T/T_0) \text{ dB}$$

Para ajudar a compreender o conceito de isolamentos sonoro a sons de condução aérea $D_{2m,nT}$, analisa-se a figura que se apresenta de seguida:



ANEXO 2-TABELAS DE RESULTADOS

Sala A

Dia	Hora	Nº de Alunos	Mínimo (dB)	Máximo (dB)	Amplitude (dB)	Média (Leq (dB))	S	Máx P (dB)
23-02 3ª f	8:30 - 10:00	20	46,20	83,70	37,50	67,99	13,38	108,40
	10:20 - 11:05	21	54,60	80,30	25,70	67,73	7,55	105,20
	11:05 - 11:50	21	51,60	79,90	28,30	71,86	7,93	102,40
	12:00 - 13:30	27	51,40	78,80	27,40	65,95	7,44	109,50
	14:30 - 15:15	20	51,50	79,50	28,00	73,69	6,52	104,20
	15:30 - 17:00	21	48,50	81,40	32,90	68,43	8,31	108,20
24-02 4ª f	8:30 - 9:15	21	64,70	77,30	12,60	71,81	3,01	105,70
	9:15 - 10:00	21	66,00	82,30	16,30	74,67	3,70	104,60
	10:20 - 11:50	27	53,90	86,50	32,60	73,83	6,32	108,70
	12:00 - 13:30	20	56,50	74,90	18,40	66,41	8,29	103,50
25-02 5ª f	8:30 - 10:00	27	45,80	79,20	33,40	69,14	8,92	105,00
	10:20 - 11:05	27	54,90	83,20	28,30	72,42	5,94	108,00
	12:00 - 13:30	27	48,00	83,90	35,90	74,39	10,01	110,00
	13:45 - 15:15	21	50,90	80,50	29,60	71,40	6,81	104,10
	15:30 - 17:00	26	44,30	71,90	27,60	59,86	15,70	99,40
26-02 6ª f	8:30 - 10:00	21	62,90	81,10	18,20	73,75	3,92	106,20
	10:20 - 11:50	27	53,60	86,90	33,30	72,00	11,96	110,70
	12:00 - 12:45	25	60,70	86,40	25,70	76,07	14,12	108,30
	12:45 - 13:30	27	51,20	81,90	30,70	67,45	11,80	104,90
	14:30 - 15:15	28	55,80	79,50	23,70	51,50	9,29	109,60
	15:30 - 17:00	24	47,00	74,70	27,70	62,75	8,55	107,20
02-03 3ª f	8:30 - 10:00	20	49,00	74,10	25,10	62,65	5,69	109,60
	10:20 - 11:05	21	53,70	75,30	21,60	68,72	5,72	103,50
	11:05 - 11:50	21	68,80	81,40	12,60	74,14	2,56	110,70
	12:00 - 13:30	27	45,50	80,10	34,60	66,87	8,65	104,70
	14:30 - 15:15	20	49,30	84,30	35,00	77,70	5,34	107,40
	15:30 - 17:00	21	48,30	76,20	27,90	63,84	7,09	103,00
03-03 4ª f	8:30 - 9:15	21	65,10	81,50	16,40	72,58	3,93	104,20
	9:15 - 10:00	21	41,10	79,10	38,00	72,31	21,23	103,30
	10:20 - 11:50	27	62,90	84,20	21,30	73,45	5,00	107,20
	12:00 - 13:30	20	56,00	79,80	23,80	68,17	5,97	105,90

04-03 5ª f	8:30 - 10:00	27	69,50	82,70	13,20	75,50	2,54	107,20
	10:20 - 11:05	27	58,30	84,80	26,50	75,09	9,55	108,70
	12:00 - 13:30	27	47,60	82,50	34,90	73,17	10,37	106,10
	13:45 - 15:15	21	43,60	88,20	44,60	74,53	16,94	109,20
	15:30 - 17:00	26	48,80	73,10	24,30	62,90	5,18	106,70
05-03 6ª f	8:30 - 10:00	21	46,10	82,30	36,20	72,34	6,10	103,40
	10:20 - 11:50	27	53,20	86,50	33,30	72,59	12,46	108,90
	12:00 - 12:45	25	60,70	87,70	27,00	77,44	6,81	109,30
	12:45 - 13:30	27	49,20	80,90	31,70	64,96	11,06	108,50
	14:30 - 15:15	28	58,70	74,60	15,90	49,30	5,01	103,10
	15:30 - 17:00	24	48,50	78,90	30,40	64,48	8,31	103,50
09-03 3ª f	8:30 - 10:00	20	46,80	79,60	32,80	64,41	8,73	106,20
	10:20 - 11:05	21	52,90	81,90	29,00	71,01	11,65	103,30
	11:05 - 11:50	21	55,70	76,10	20,40	65,89	5,23	100,00
	12:00 - 13:30	27	46,00	79,80	33,80	66,37	9,11	103,90
	14:30 - 15:15	20	60,00	77,20	17,20	69,44	5,32	107,30
	15:30 - 17:00	21	49,20	78,00	28,80	67,07	6,60	109,00
10-03 4ª f	8:30 - 9:15	21	59,80	76,90	17,10	69,71	4,06	104,50
	9:15 - 10:00	21	66,70	81,80	15,10	74,41	3,19	103,30
	10:20 - 11:50	27	62,80	83,10	20,30	72,98	4,03	104,10
	12:00 - 13:30	20	53,80	76,50	22,70	66,99	4,72	107,00
11-03 5ª f	8:30 - 10:00	27	68,20	79,10	10,90	74,64	2,27	103,40
	10:20 - 11:05	27	65,10	83,40	18,30	74,55	4,51	105,40
	12:00 - 13:30	27	68,50	81,70	13,20	75,49	2,82	106,70
	13:45 - 15:15	21	59,90	80,50	20,60	73,28	5,34	102,10
	15:30 - 17:00	26	49,80	73,90	24,10	62,10	4,47	107,20
12-03 6ª f	8:30 - 10:00	21	59,60	80,20	20,60	73,88	3,83	107,20
	10:20 - 11:50	27	49,00	88,40	39,40	71,60	16,20	112,70
	12:00 - 12:45	25	57,10	87,90	30,80	76,50	7,53	110,60
	12:45 - 13:30	27	48,00	72,70	24,70	62,39	10,26	102,60
	14:30 - 15:15	28	45,20	79,40	34,20	68,70	14,08	104,90
	15:30 - 17:00	24	50,10	77,60	27,50	64,04	6,13	114,10
16-03 3ª f	8:30 - 10:00	20	54,40	77,90	23,50	65,41	8,03	103,60
	10:20 - 11:05	21	54,40	80,10	25,70	69,93	8,40	106,80
	11:05 - 11:50	21	55,40	76,00	20,60	71,79	4,53	111,30
	12:00 - 13:30	27	42,80	80,60	37,80	66,74	17,16	102,70
	14:30 - 15:15	20	62,80	83,50	20,70	75,11	4,30	108,50
	15:30 - 17:00	21	46,80	82,50	35,70	67,85	13,27	104,20
18-03 5ª f	8:30 - 10:00	27	67,30	78,50	11,20	74,41	2,21	103,70
	10:20 - 11:05	27	53,50	81,00	27,50	70,42	9,16	108,70
	12:00 - 13:30	27	64,70	80,00	15,30	75,73	3,28	106,20
	13:45 - 15:15	21	50,90	77,00	26,10	66,22	8,60	105,10

	15:30 - 17:00	26	51,20	72,20	21,00	63,96	3,64	102,40
19-03 6ª f	8:30 - 10:00	21	45,00	79,90	34,90	71,21	16,87	105,60
	10:20 - 11:50	27	54,40	86,50	32,10	71,57	9,64	112,00
	12:00 - 12:45	25	55,80	88,00	32,20	75,12	11,98	109,10
	12:45 - 13:30	27	49,10	71,20	22,10	59,62	7,17	99,30
	14:30 - 15:15	28	52,00	77,30	25,30	62,80	5,74	106,70
	15:30 - 17:00	24	56,10	83,40	27,30	69,01	7,66	106,30
23-03 3ª f	8:30 - 10:00	20	46,80	76,30	29,50	63,70	9,07	93,50
	10:20 - 11:05	21	59,00	82,60	23,60	70,33	6,65	106,20
	11:05 - 11:50	21	65,60	79,50	13,90	72,99	3,53	105,60
	12:00 - 13:30	27	45,80	78,00	32,20	68,16	6,94	106,20
	14:30 - 15:15	20	53,90	79,00	25,10	73,73	7,88	107,60
	15:30 - 17:00	21	55,60	78,40	22,80	66,99	6,30	108,60

SALA B

Dia	Hora	Nº de Alunos	Mínimo (dB)	Máximo (dB)	Amplitude (dB)	Média (Leq (dB))	S	Máx P (dB)
23-02 3ª f	8:30 - 10:00	21	52,50	77,10	24,60	68,86	6,37	103,40
	10:20 - 11:50	21	53,70	77,50	23,80	66,83	4,85	104,70
	12:00 - 12:45	27	46,70	76,80	30,10	69,00	13,74	98,30
	14:30 - 15:15	27	45,00	64,40	19,40	55,28	4,77	95,20
	15:30 - 16:15	21	60,80	84,30	23,50	72,15	7,74	112,20
24-02 4ª f	8:30 - 10:00	21	48,90	83,50	34,60	69,54	8,21	113,40
	10:20 - 11:50	21	63,30	85,20	21,90	74,02	4,44	110,90
	12:00 - 12:45	21	64,40	79,90	15,50	73,43	3,48	107,50
25-02 5ª f	8:30 - 10:00	21	59,70	88,10	28,40	74,78	5,05	98,10
	10:20 - 11:50	21	56,00	85,80	29,80	72,89	7,07	99,90
	12:00 - 12:45	21	63,00	81,70	18,70	72,83	3,99	99,50
	14:30 - 15:15	21	59,80	80,50	20,70	70,78	5,11	100,20
	15:30 - 17:00	27	53,90	91,50	37,60	75,72	11,66	101,70
26-02 6ª f	8:30 - 10:00	21	63,50	90,90	27,40	77,61	6,67	95,20
	10:20 - 11:50	25	68,70	98,30	29,60	82,35	6,24	95,70
	12:00 - 13:30	21	62,40	86,20	23,80	75,48	3,73	95,80
	13:45 - 15:15	27	58,20	94,00	35,80	82,41	9,98	97,90
	15:30 - 16:15	27	78,10	106,20	28,10	92,38	7,08	105,50
02-03 3ª f	8:30 - 10:00	21	75,80	92,70	16,90	85,10	3,39	98,30
	10:20 - 11:50	21	60,50	98,30	37,80	79,42	10,38	96,90
	12:00 - 12:45	27	56,50	81,80	25,30	71,20	7,89	94,70
	14:30 - 15:15	27	57,10	83,90	26,80	71,34	8,57	93,30
	15:30 - 16:15	21	61,10	96,90	35,80	83,48	11,52	99,10
03-03 4ª f	8:30 - 10:00	21	61,50	88,20	26,70	77,17	6,61	95,20
	10:20 - 11:50	21	73,10	97,90	24,80	83,18	4,90	100,60
	12:00 - 12:45	21	61,70	87,20	25,50	78,33	6,61	96,40
09-03 3ª f	8:30 - 10:00	21	46,60	74,50	27,90	63,90	8,51	102,00
	10:20 - 11:50	21	48,50	80,80	32,30	67,58	9,01	107,40
	12:00 - 12:45	27	44,70	70,60	25,90	63,00	5,44	99,20
	14:30 - 15:15	27	47,00	68,20	21,20	59,22	7,26	98,90
	15:30 - 16:15	21	55,00	85,90	30,90	74,02	10,93	110,00
10-03 4ª f	8:30 - 10:00	21	45,80	84,40	38,60	71,11	13,13	108,30
	10:20 - 11:50	21	64,10	82,90	18,80	72,58	4,18	107,60
	12:00 - 12:45	21	53,00	80,00	27,00	68,78	6,37	104,70

11-03 5ª f	8:30 - 10:00	21	74,20	98,40	24,20	92,15	3,89	96,20
	10:20 - 11:50	21	56,70	90,80	34,10	75,84	11,45	113,90
	12:00 - 12:45	21	59,80	77,40	17,60	69,60	4,48	103,30
	14:30 - 15:15	21	55,20	77,50	22,30	67,28	6,50	102,50
	15:30 - 17:00	27	52,50	84,30	31,80	69,15	8,81	105,00
12-03- 6ª f	8:30 - 10:00	21	71,00	112,20	41,20	93,16	14,40	97,50
	10:20 - 11:50	25	62,20	94,30	32,10	81,99	12,79	97,50
	12:00 - 13:30	21	71,70	92,10	20,40	80,99	4,27	100,80
	13:45 - 15:15	27	70,40	101,60	31,20	88,05	6,05	96,30
	15:30 - 16:15	27	76,80	100,20	23,40	88,33	5,64	94,30
16-03 3ª f	8:30 - 10:00	21	66,20	88,20	22,00	77,88	4,85	97,10
	10:20 - 11:50	21	55,50	87,40	31,90	73,13	12,46	95,90
	12:00 - 12:45	27	59,30	84,80	25,50	73,73	6,72	97,00
	14:30 - 15:15	27	54,00	82,40	28,40	68,62	11,25	92,80
	15:30 - 16:15	21	63,50	86,90	23,40	75,90	6,86	98,00
18-03 5ª f	8:30 - 10:00	21	69,10	100,00	30,90	89,27	6,79	96,50
	10:20 - 11:50	21	74,50	97,10	22,60	86,77	5,51	93,80
	12:00 - 12:45	21	74,40	101,10	26,70	87,08	7,95	98,00
	14:30 - 15:15	21	72,60	94,80	22,20	83,03	6,19	97,40
	15:30 - 17:00	27	69,80	102,00	32,20	85,82	8,23	94,70
23-03 3ª f	8:30 - 10:00	21	73,20	92,60	19,40	82,85	4,00	98,20
	10:20 - 11:50	21	70,10	92,20	22,10	80,50	4,37	98,60
	12:00 - 12:45	27	60,90	87,00	26,10	76,40	9,67	93,80
	14:30 - 15:15	27	78,40	98,70	20,30	87,51	4,91	94,40
	15:30 - 16:15	21	84,80	94,20	9,40	89,93	2,35	96,00