

ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO DE EQUIPAMENTOS AVAC EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS

FÁTIMA MARIA GOMES FERNANDES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

JULHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais,
irmãos, cunhados e sobrinhos

O rio atinge os objectivos porque aprendeu a contornar os obstáculos
Lao-Tse

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu Orientador, Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho, o apoio, disponibilidade e paciência ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço o apoio do meu namorado na pesquisa de elementos sobre o tema deste trabalho e também o apoio e motivação nos momentos mais difíceis.

Por último, não posso deixar de agradecer à minha família, todo o carinho, apoio e motivação nos momentos de desânimo do meu percurso académico e sobretudo aos meus pais o sacrifício que fizeram para que eu pudesse acabar o curso.

A todos o meu obrigada.

RESUMO

O objectivo principal deste trabalho é a análise e caracterização do ruído de equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (AVAC) em edifícios públicos, nomeadamente, escolas, bibliotecas e hospitais.

Para tal, retratam-se situações correntes de intrusão de ruído, com origem nos equipamentos mecânicos de AVAC, afectando espaços ocupados (espaços públicos) com o objectivo de discutir a adequabilidade da utilização destes equipamentos em função da incomodidade provocada pelo ruído nos ocupantes desses espaços. No sentido de se avaliar o enquadramento regulamentar em vigor (nacional e estrangeiro) sobre o tema, comparam-se valores fornecidos por alguns fabricantes dos equipamentos AVAC e dados recolhidos *in situ*, com os valores regulamentares.

Antes de estabelecer esta discussão achou-se razoável criar um capítulo apenas para a compreensão dos conceitos teóricos básicos da acústica, pressão sonora, nível de pressão sonora, potência sonora, nível de potência sonora, frequência, entre outros e enunciar os vários efeitos que a exposição ao ruído provoca no Ser Humano. Desta forma torna-se mais fácil a compreensão dos diferentes critérios de conforto acústico que se tratam no decorrer do trabalho: curvas de incomodidade (NC, NR e RC) e nível sonoro definido em dB(A).

A causa principal para a necessidade do estudo de que trata este trabalho é o uso habitual e aconselhado da utilização de equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado nos edifícios públicos. Para ajudar a compreender os benefícios e consequências da sua utilização dedica-se também um capítulo apenas à caracterização e funcionamento destes equipamentos, descrevendo todos os equipamentos principais e auxiliares que os compõem.

Palavras chave: critérios, conforto, incomodidade, acústica, nível sonoro

ABSTRACT

The main goal of this work is the analysis and characterization the noise of Heating, Ventilation and Air-Conditioning (HVAC) equipment in public buildings, in order to discuss the adequacy of this equipment, based on the nuisance caused by noise to occupants of these spaces. In order to evaluate the current legal framework (national and international) on this subject, were considered the noise levels provided by some manufacturers of HVAC equipment and was also collected “*in situ*” data to compared with the legal limits.

Before establishing this discussion it was felt reasonable to create a chapter to understand the basic theoretical concepts of acoustics (sound pressure, sound pressure level, sound power, sound power level, frequency, among others) and to describe the various effects that exposure to noise causes to humans. Thus, it becomes easier to understand the different criteria of acoustic comfort dealt within this work: the noise criteria curves (NC, NR and RC) and the sound level in dB(A).

The main purpose for this work is to study the use of HVAC equipment in public buildings. To understand the benefits and consequences of its use a chapter is devoted only to the characterization and operation of the equipment, describing all the main and auxiliary equipment that compose them.

Keywords: criteria, comfort, discomfort, noise, noise level

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE QUADROS

AGRADECIMENTOS i

RESUMO iii

ABSTRACT v

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. Enquadramento 1

1.2. Relevância do tema 2

1.3. Estrutura da dissertação 3

2. O RUÍDO 5

2.1. Introdução 5

2.2. Conceitos teóricos básicos 6

2.2.1. Nível de pressão sonora 6

2.2.2. Frequência 9

2.3. Efeitos do ruído no Ser Humano 13

2.4. Ruído de equipamentos 16

2.4.1 Introdução 16

2.4.2 Critérios de conforto acústico 17

2.4.3 Avaliação do ruído dos equipamentos 22

3. EQUIPAMENTOS DE AVAC 23

3.1. Generalidades 23

3.2. Breves Apontamentos Históricos do Aquecimento, ventilação e Ar Condicionado
..... 23

3.3. Caracterização de instalação e sistema de AVAC 25

3.4. Equipamentos Principais e auxiliares de AVAC 26

3.4.1. Conceitos 26

3.4.2. Classificação dos Sistemas de AVAC 28

3.4.3. Definição dos Sistemas de Climatização do Ar 29

3.4.3.1. Sistemas Tudo Ar 29

3.4.3.2. Sistemas tudo água	33
3.4.3.3. Sistemas Água-Ar (sistemas mistos)	35
3.4.3.4. Sistemas de Expansão Directa de um Fluido Refrigerante	35
3.4.4 Domínios de utilização	46
4. CASOS DE ESTUDO	47
4.1. Generalidades	47
4.2. Escolas	48
4.3. Bibliotecas	50
4.4. Hospitais	53
5. EQUIPAMENTOS AVAC EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS	57
5.1. Generalidades	57
5.2. Legislação aplicável	59
5.2.1 Desenvolvimento da Legislação	59
5.2.2. Escolas (salas de aula)	60
5.2.3. Bibliotecas	62
5.2.4. Hospitais	63
5.3. Valores limites e ideais	63
5.3.1. Definição	63
5.3.2 Valores Limites	64
5.4. Estudo do Mercado	68
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	73
6.1. Conclusões	73
6.2. Desenvolvimentos futuros	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Pressão sonora p e níveis de pressão sonora L_p [3]	6
Figura 2.2 - Gamas de frequências [3].....	9
Figura 2.3 - Curvas de igual sensibilidade auditiva [8]	12
Figura 2.4 – Comparação das curvas de ponderação (filtros A e C) [8].....	13
Figura 2.5 – Esquema do ouvido humano [10]	14
Figura 2.6 - Curvas NC – Noise Criterion [13]	18
Figura 2.7 - Exemplo de aplicação das curvas NC [13].....	19
Figura 2.8 - Curvas NR – Noise Rating [13].....	19
Figura 2.9 - Exemplo de aplicação das curvas NR [13].....	20
Figura 2.10 - Curvas RC – Room Criteria [13].....	21
Figura 2.11 - Diferentes tipos de som consoante a frequência [14]	21
Figura 3.1 - Esquema ilustrativo do "hypocaust" [17]	214
Figura 3.2 - Ruínas de um sistema "hypocaust" [17].....	214
Figura 3.3- Primeira máquina de refrigeração comercial [18].....	215
Figura 3.4 - Unidade de janela (vistas exterior e interior) [20]	366
Figura 3.5 - O interior de uma unidade de janela [20].....	377
Figura 3.6 – Exemplo de apresentação da distância e desnível máximos entre as unidades interior e exterior [21].....	377
Figura 3.7 - Esquema do sistema Split [22]	388
Figura 3.8 - Split cassete [23].....	399
Figura 3.9 - Exemplo de aplicação [24].....	399
Figura 3.10 - Unidades interna e externa e comando para controlo remoto do sistema Split – parede [25].....	40
Figura 3.11 – Esquema de funcionamento de um aparelho Split parede [26].....	40
Figura 3.12 – Exemplo de um Split dutado [27]	41
Figura 3.13 – Funcionamento de um Split dutado [27]	41
Figura 3.14 - Exemplo de um Split tecto [28]	41
Figura3.15 – Sistema de climatização Multi-split [28]	42
Figura3.16 - Multi-split [29].....	42
Figura 3.17 – Exemplo de um modelo VRV [29].....	433
Figura 3.18 - Volume de refrigerante variável (VRV) [29].....	444
Figura 3.19 - Aplicação VRV num edifício [30]	444
Figura 3.20 – Exemplo de chillers [31].....	455
Figura 3.21 - Exemplos de torres de resfriamento [20].....	455
Figura 4.1 - Fontes de ruído de fundo numa sala de aula desocupada [34]	488

Figura 4.2 – LAeq com ventiladores ligados [35]	499
Figura 4.3 - LAeq com ventiladores desligados [35]	499
Figura 4.4 - Biblioteca Angélica, Roma, Itália [37]	51
Figura 5.1 - Método para reduzir o ruído provocado pela vibração das condutas de AVAC [43].....	588
Figura 5.2 – Comparação acústica entre várias salas de aula usando a ANSI S12.60-2002 [34]	688

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Tempos máximos admissíveis de exposição ao ruído	7
Quadro 2.2 - Comparação entre as bandas de oitava e 1/3 de oitava	10
Quadro 2.3 - Resumo dos valores críticos [11].....	16
Quadro 2.4 Valores obtidos de um espectro de ruído.....	18
Quadro 2.5 Valores obtidos de um espectro de ruído.....	20
Quadro 2.6 – Escala de classificação dos valores de LAr [15].....	22
Quadro 3.1 – Relação entre a distância e o desnível máximo das unidades interior e exterior [21]..	388
Quadro 4.1 – Percentagem de incomodidade em cada categoria de ruído [32]	477
Quadro 4.2 – Leq nas bibliotecas estudadas [38].....	52
Quadro 4.3 – Avaliação do ruído particular dos equipamentos em algumas bibliotecas portuguesas [32].....	522
Quadro 4.4 – Fontes e níveis de ruído numa unidade de cuidados intensivos pediátricos [40]	544
Quadro 4.5 – Valores médios obtidos (Leq) em dB e dB(A) [42].....	555
Quadro 5.1- Limite do nível sonoro contínuo equivalente [LAeq (dB(A))] de acordo com a ocupação [52].....	64
Quadro 5.2 - Limite do nível sonoro contínuo equivalente [LAeq (dB(A))] para hospitais	655
Quadro 5.3 - Edifícios escolares e similares e de investigação.....	665
Quadro 5.4 - Edifícios hospitalares e similares.....	666
Quadro 5.5 - Comparação entre os vários critérios de conforto acústico [53].....	666
Quadro 5.6 – Valores máximos ideais [54]	677
Quadro 5.7 - Nível sonoro para os vários tipos de equipamentos AVAC	688
Quadro 5.8 - Qualidade ambiente do espaço em função do nível sonoro	7070
Quadro 5.9 – Fabricante que apresenta aparelhos AVAC com os menores níveis de ruído dB(A)	70

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANSI – *American National Standards Institute*

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

AVAC – Aquecimento, Ventilação e AR Condicionado

dB – decibel

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Hz – hertz

ISO – Organização Internacional de Normalização

$L_{A,eq}$ – Nível sonoro contínuo equivalente ponderado A (dB)

$L_{A,r,nT}$ – Nível sonoro contínuo equivalente ponderado A padronizado do ruído particular (dB)

L_{eq} – Nível sonoro contínuo equivalente linear (dB)

L_I – Nível de intensidade sonora (dB)

L_p – Nível de pressão sonora (dB)

L_w – Nível de potência sonora (dB)

NC – *Noise Criteria*

NR – *Noise Rating*

p – Pressão sonora

Pa – Pascal

RC – *Room Criteria*

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

SPL – *Sound Pressure Level*

W – Watt

L_{Cpico} – Nível de pressão de pico, ponderado C

$\bar{L}_{Ex,8h}$ - Média semanal dos valores diários da exposição pessoal ao ruído

UPS – *Uninterruptible Power Supply*

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O Homem, desde as primeiras manifestações como ser racional, vive com a necessidade constante de melhorar as suas condições de vida. Quando vivia em cavernas tinha a necessidade de se proteger das condições climatéricas pelo que a utilização das peles dos animais era a solução. Com o advento do cultivo e preparação do solo, começou a ter necessidades de planeamento e organização de tarefas o que levou à formação de pequenos aglomerados populacionais. Estes começaram a formar aldeias e a desenvolver novos métodos de protecção – abrigos e outros agasalhos. À medida que os agrupamentos populacionais cresciam, aumentava a racionalização do Homem, surgiam novas actividades e novas necessidades de conforto e higiene, começando-se a construir habitações mais adequadas a esses propósitos.

Hoje, os edifícios modernos parecem máquinas complexas destinadas ao conforto humano. Com a tecnologia mais avançada de todos os tempos, o Homem tem ao seu dispor todos os meios para tornar o ambiente, no interior de qualquer edifício, mais agradável e confortável. Fala-se da utilização de equipamentos mecânicos de climatização, os equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado, conhecidos por AVAC. Estes equipamentos permitem manter e controlar o ambiente (temperatura e humidade) em espaços fechados, nos níveis adequados à produtividade, saúde e bem-estar físico e psicológico dos seus ocupantes.

No entanto, se por um lado estes equipamentos proporcionam conforto e bem-estar, por outro poderão tornar-se fontes prejudiciais à saúde podendo, provocar mesmo, doenças. Portanto, o Homem sente a necessidade de criar alternativas para se defender dos equipamentos que ele próprio desenvolveu.

As manutenções periódicas, incluindo a limpeza e reparação mecânica dos equipamentos AVAC são soluções aconselhadas para proporcionar o bom funcionamento mecânico e impedir a acumulação de bactérias, formação e propagação de ruídos prejudiciais à saúde dos seus utilizadores.

1.2. RELEVÂNCIA DO TEMA

É comum, quando se pretende construir um edifício, seja ele habitacional, comercial ou industrial, pensar na estrutura e na arquitectura, muitas vezes não dando importância a um factor muito importante que está ligado não só ao conforto como à própria saúde dos seus ocupantes, que é o sistema de climatização ou alteração termo-higrométrica.

As oscilações térmicas entre as várias estações do ano, tal como a necessidade de uma superior eficiência em termos de produtividade e bem-estar das pessoas, tornaram o AVAC quase incontornável na garantia de conforto humano e de saúde. Sublinham-se também factores tão críticos como a segurança de bens e pessoas, salvaguarda com eficientes sistemas de ventilação e desenfumagem (caves, parques de estacionamento, etc.) e de climatização para equipamentos (UPS's, servidores informáticos, etc.).

Muitas vezes, o insucesso da utilização de sistemas AVAC deve-se a deficiências de projecto, má instalação ou manutenção inadequada, ou mesmo, ignorada. Quando isso acontece, os sistemas de AVAC tornam-se potenciais fontes de poluição, contrariando a finalidade do seu propósito, “tratar o ar com qualidade”. A geração de ruído é um dos problemas.

A avaliação de ruído a partir destes sistemas é aplicável à maioria dos edifícios ocupados. Espaços como teatros, escolas, hospitais, tribunais, igrejas e residências são ambientes em que o controlo do ruído do AVAC é relevante. O estudo deste comportamento tem sido desenvolvido por várias entidades que estabeleceram níveis de ruído que se consideram como aceitáveis dentro de cada ambiente. Portanto, o enquadramento regulamentar quer nacional quer internacional deve ser atendido, não só em situações de reclamação por parte dos cidadãos expostos ao ruído nesses espaços, como também na fase de projecto de um novo edifício.

Com a presente dissertação pretende-se, sobretudo, alertar para a necessidade de serem elaborados projectos e estudos no intuito de adequar o ambiente acústico dos espaços às correspondentes exigências regulamentares de conforto relacionadas com as actividades previstas, mas também alertar para a contínua necessidade da escolha de equipamentos adequados, de baixo custo operacional e às actividades de manutenção periódicas.

A análise e caracterização do ruído de equipamentos AVAC serão abordadas principalmente para edifícios públicos: hospitais, escolas, e bibliotecas. Isto, porque são espaços onde os ocupantes estão grande parte do tempo do seu dia e onde o ruído é extremamente incomodativo. Além disso, são locais onde o silêncio é essencial para a aprendizagem, tratamento ou concentração.

No hospital um dos principais sistemas a ser considerado, em fase de projecto, é o do AVAC que, quando mal aplicado, favorece o crescimento, proliferação e transporte de microrganismos, principalmente bactérias, vírus e fungos. Contudo, se bem aplicados, servem para manter as condições de conforto e pureza do ar. Em diversas doenças o controle da temperatura e humidade é fundamental. Nestes casos, a manutenção destas condições não é apenas confortável, mas também auxilia o tratamento e a recuperação dos doentes. O problema ambiental nos hospitais é pois uma questão séria.

Os doentes que necessitem de tratamentos hospitalares precisam de descansar mais do que ninguém. Portanto a presença de ruído pode ser muito prejudicial ao tratamento. Esta é uma das maiores queixas tanto dos pacientes como dos funcionários. O ideal para recuperar de uma doença ou efectuar um tratamento médico deveria ser um local calmo. O hospital, no entanto, não é um lugar pacífico. A todo o instante se ouvem vozes, máquinas, telefones, apitos e alarmes. Todo este ruído tem um sério impacto sobre os doentes e funcionários. Torna-se, portanto, importante estudar a contribuição do ruído dos equipamentos AVAC nos hospitais.

Nas escolas a capacidade de ouvir correctamente, especialmente no ensino pré-escolar é um dos factores mais importantes na capacidade de uma criança processar e aprender novas informações.

O ruído ambiente pode ser devido a diversos factores como os próprios alunos, ruído nos corredores, computadores em funcionamento mas um dos maiores contribuintes para o ruído ambiente na sala de aula é o do sistema de AVAC, independentemente da sua localização, tecto ou parede. A maioria dos sistemas de climatização vendidos no mercado operam com níveis de ruído ambiente que são considerados demasiado elevados para a instrução nas salas de aula.

A acústica das bibliotecas é outro tema de elevada importância. A maioria das bibliotecas situam-se em locais inadequados, em locais de “sobra” das instituições a que pertencem ou, no caso de bibliotecas públicas, em locais com uma deficiente análise do ruído ambiente e muitas vezes com materiais de construção inapropriados para neutralizar ou minimizar os ruídos. Questões que se opõem ao objectivo primordial que é o silêncio nestes espaços.

Também nas bibliotecas o uso de equipamentos de climatização, AVAC, é usual. Convém portanto estudar estes sistemas no sentido de escolher equipamentos adequados às condições ambientais das bibliotecas, levando em consideração a sua localização, tamanho e ocupação, e que provoquem o mínimo de incómodo nos ocupantes.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação sobre a análise e caracterização do ruído de equipamentos AVAC em edifícios públicos, é composta por seis capítulos.

- Capítulo 1

Faz uma breve introdução sobre a importância dos equipamentos AVAC na sociedade em geral e mais concretamente nos edifícios públicos em estudo neste trabalho, uma descrição do trabalho e a apresentação dos objectivos que se pretendem atingir com a redacção do mesmo.

- Capítulo 2

Faz uma abordagem teórica sobre o ruído e os seus efeitos no ser humano e descreve conceitos teóricos básicos sobre a acústica em geral. Além disso aborda a problemática do ruído dos equipamentos.

- Capítulo 3

Apresenta a evolução histórica dos equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado, descreve os seus equipamentos principais e auxiliares e o seu funcionamento.

- Capítulo 4

Apresenta os casos em estudo estabelecendo a necessidade da utilização de equipamentos de AVAC na climatização dos locais e os problemas da sua utilização.

- Capítulo 5

Trata dos objectivos do trabalho, a análise e caracterização do ruído dos equipamentos AVAC nos edifícios públicos – hospitais, escolas e bibliotecas. Aborda a legislação aplicável, nacional e estrangeira e apresenta os valores limites e aconselhados ao correcto funcionamento dos equipamentos AVAC nesses ambientes.

- Capítulo 6

Apresenta as principais conclusões do trabalho realizado e perspectiva futuros desenvolvimentos complementares.

2

O RUÍDO

2.1. INTRODUÇÃO

O som é produzido pela libertação de energia emitida por uma fonte sonora ou pelo movimento de um corpo que coloca em vibração o ar em seu redor. O som propaga-se, assim, através de um conjunto de ondas mecânicas de pressão e de sub pressão em relação à pressão atmosférica. Esse movimento no ar coloca, por sua vez, em vibração os elementos do local, propagando-se o som para outros locais e provocando sensações auditivas nos receptores (através da vibração do tímpano, nos ouvidos).

Os termos ruído e som são muitas vezes utilizados indistintamente. Um ruído é um tipo de som mas um som não é necessariamente um ruído. O termo som é geralmente utilizado para descrever as situações prazerosas, como fala ou música e o termo ruído para descrever um som indesejável ou desagradável ao ouvido humano. No entanto, o que é som para uns pode ser ruído para outros simultaneamente. Um exemplo simples, é o caso de uma conversa num recinto onde se impõe o silêncio. A conversa pode ser agradável aos seus intervenientes mas incómoda para os restantes ocupantes [1].

O ruído depende das “características” do som, da sua intensidade, dos receptores e do período de tempo em que ocorre (dia ou noite). A avaliação do ruído pode ser feita através de duas vertentes:

- incomodidade: de difícil avaliação, pois é subjectiva, mas que pode impedir os indivíduos de realizarem as suas tarefas normais, sendo por isso, estudada no âmbito da “Acústica Ambiental”. O nível de incomodidade é definido pela legislação;

- trauma auditivo : está relacionado com a existência de lesões auditivas e é mais simples de avaliar por se saber para que nível sonoro ocorrem as referidas lesões. O trauma auditivo é estudado no âmbito do “Ruído Laboral”, tema da Higiene e Segurança no Trabalho.

2.2. CONCEITOS TEÓRICOS BÁSICOS

2.2.1. NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

A geração de ruído é causada por vibrações ou mudanças de pressão dentro de um “meio elástico”, que são capazes de ser detectadas por um sistema auditivo. Num “meio elástico” as partículas do meio retomam a sua posição inicial depois de perturbadas pela onda vibracional. Estas vibrações podem ocorrer através de meios sólidos, líquidos ou gases. Portanto, o elemento mais importante a ser medido será a variação de pressão provocada pelas ondas sonoras, tomando sempre como situação de referência a pressão atmosférica normal ($\approx 10^5$ Pa) [1].

A variação de pressão sonora, representa a variação da pressão atmosférica em relação a um valor de referência, percebido pelo ouvido. O ouvido humano responde a uma larga faixa de intensidade acústica, desde o limiar da audição ($20 \mu\text{Pa}$) até ao limite da dor (100 Pa). No entanto, a utilização de uma unidade linear, o Pa, conduzia a escalas muito alongadas, e sabe-se que o ouvido humano responde de forma logarítmica e não linear, aos estímulos sonoros. Assim, optou-se por exprimir a quantificação dos parâmetros sonoros numa escala logarítmica (níveis), que não é mais do que a razão logarítmica entre os valores medidos e os valores de referência. A esta razão chama-se **decibel** ou **dB** [2].

Define-se, então, nível de pressão sonora (**L_p**):

$$L_p = 20 \times \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (1)$$

Onde,

p – valor da pressão sonora em Pa;

p₀ - valor da pressão sonora de referência : 2×10^{-5} Pa.

Na figura 2.1, pode-se observar a vantagem de se utilizar uma escala em dB, uma vez que os níveis de pressão sonora variam entre 0 dB e 140 dB.



Figura 2.1 - Pressão sonora p e níveis de pressão sonora L_p [3]

Embora o nível de pressão sonora (L_p) eficaz, medido em dB, seja mais estável no tempo que o nível de pressão sonora instantânea, mesmo assim é difícil descrever um acontecimento sonoro recorrendo ao nível de pressão sonora eficaz L_{pef} , também chamado de SPL (*Sound Pressure Level*), pois apresenta variações entre máximos e mínimos.

Como os níveis de ruído variam de maneira aleatória no tempo, recorre-se ao nível de pressão sonora contínuo equivalente, L_{eq} , expresso em dB(A), que representa a média de energia sonora durante um dado intervalo de tempo. É um método de análise de valores médios através de aproximação matemática. Este valor é calculado automaticamente por alguns instrumentos de medição do ruído.

A norma portuguesa NP-1733 [4] diz que o nível sonoro contínuo equivalente não deve ultrapassar 85 dB(A), sendo o máximo admissível 90 dB(A), valor acima do qual se considera haver risco apreciável de surdez.

Conjugando esta norma com o critério de igual energia [5] pode-se construir o quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Tempos máximos admissíveis de exposição ao ruído

Tempo de exposição	Nível Sonoro [dB(A)]
8 h/dia (40 h/sem)	85
4 h/dia	88
2 h/dia	91
1 h/dia	94
30 min/dia	97
15 min/dia	100
...	...
28 s/dia	115 (valor máximo)

Contudo, com a entrada em vigor do Decreto-Lei nº 182/2006 de 6 de Setembro, comum aos 27 países da União Europeia, definiram-se valores limites de exposição e valores de acção superiores e inferiores referentes à exposição pessoal diária ou semanal de um trabalhador e nível de pressão sonora de pico [6].

Decreto-Lei nº 182/2006 de 6 de Setembro

Artigo 3.º Valores limite de exposição e valores de acção

1 – Para os efeitos da aplicação do presente decreto-lei, os valores limite de exposição e o valores de acção superior e inferior, no que se refere à exposição pessoal diária e semanal de um trabalhador e ao nível de pressão sonora de pico, são fixados em:

a) Valores limites de exposição:

$$L_{EX,8h} = \bar{L}_{EX,8h} = 87 \text{ dB(A)} \text{ e } L_{Cpico} = 140 \text{ dB(C)} \text{ equivalente a } 200 \text{ Pa}$$

b) Valores de acção superiores:

$$L_{EX,8h} = \bar{L}_{EX,8h} = 85 \text{ dB(A)} \text{ e } L_{Cpico} = 137 \text{ dB(C)} \text{ equivalente a } 140 \text{ Pa}$$

c) Valores de acção inferiores:

$$L_{EX,8h} = \bar{L}_{EX,8h} = 80 \text{ dB(A)} \text{ e } L_{Cpico} = 135 \text{ dB(C)} \text{ equivalente a } 112 \text{ Pa}$$

Para uma melhor compreensão dos termos encontrados neste Decreto-Lei, define-se “nível de pressão de pico”, L_{Cpico} , como o valor máximo da pressão sonora instantânea, ponderado C, expresso em dB(C), dado pela expressão:

$$L_{Cpico} = 10 \lg \left(\frac{p_{Cpico}}{p_0} \right)^2 \quad (2)$$

Onde, p_{Cpico} é o valor máximo da pressão sonora instantânea a que o trabalhador está exposto, ponderado C, expresso em pascal.

E, “média semanal dos valores diários da exposição pessoal ao ruído”, $\bar{L}_{EX,8h}$, como a média dos valores de exposição diários, com uma duração de referência de quarenta horas, obtida pela expressão:

$$\bar{L}_{EX,8h} = 10 \lg \left[(1/5) \sum_{k=1}^m 10^{(0,1L_{EX,8h})_k} \right] \quad (3)$$

Onde, $(L_{EX,8h})_k$, representa os valores de $L_{EX,8h}$ para cada um dos m dias de trabalho da semana considerada.

Além da pressão sonora existem outras grandezas importantes na compreensão da propagação sonora. Fala-se da intensidade sonora e da potência sonora.

A intensidade sonora pode ser definida como a quantidade de energia vibratória que se propaga nas áreas próximas (1 m^2), a partir da fonte emissora, podendo ser expressa em termos de energia (W/m^2) ou em termos de pressão (N/m^2 ou Pa).

Tal como a pressão também a intensidade sonora pode ser medida em dB, trata-se do nível de intensidade sonora (L_I).

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (4)$$

Onde, $I_0 = 10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$

Relativamente à potência sonora, pode definir-se como sendo a quantidade de energia acústica irradiada pela fonte sonora num ambiente não reflexivo medida em watt (W). A potência do som é uma propriedade fixa da fonte e não do estímulo independentemente da distância e do ambiente.

Também a potência sonora se pode analisar em termos de dB, quando se refere ao nível de potência sonora (L_w).

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{w}{w_0} \quad (5)$$

Onde, $w_0 = 10^{-12} \text{ W}$

Muitas vezes os conceitos de pressão sonora e potência sonora são confundidos. Embora ambos os níveis, nível de pressão sonora e nível de potência sonora, sejam expressos em dB, os padrões de referência são diferentes. O nível de potência sonora é a produção total de energia acústica de uma fonte de ruído independente do ambiente. O nível de pressão sonora é dependente de factores ambientais, como a distância à fonte, a presença de superfícies reflectoras e outras características do espaço ou do edifício.

Para melhor compreender os conceitos de potência sonora (a causa) e pressão sonora (a consequência), uma analogia pode ser feita entre uma lâmpada e a iluminação que esta induz numa sala. A lâmpada foi concebida para dissipar um determinado número de watt de potência, independentemente do espaço onde seja colocada. No entanto, essa lâmpada colocada numa sala de paredes brancas reflectirá mais luz que a mesma lâmpada colocada na mesma sala mas com paredes escuras. Portanto o nível de iluminação não depende apenas da potência da lâmpada mas sim, e muito, das características da envolvente.

2.2.2. FREQUÊNCIA

A caracterização de um qualquer ruído não fica completa sem que além da pressão se analise também a sua frequência.

A frequência é representada pelo número de vibrações completas num segundo, sendo a sua unidade de medida expressa em hertz (Hz). Quase todos os sons (ou ruídos) contêm diferentes frequências e uma fonte sonora é frequentemente diferenciável de outra também pelas frequências que emite.

Em Acústica de Edifícios é normal distinguir-se três grandes zonas de frequências:

- frequências graves: 20 a 355 Hz;
- frequências médias: 355 a 1 410 Hz;
- frequências agudas: 1 410 a 20 000 Hz.

A gama de frequência audível normal para pessoas jovens situa-se entre 20 e 20 000 Hz, figura 2.2. Sons de frequências inferiores são denominados de infra-sons e os de frequência superior de ultra-sons.

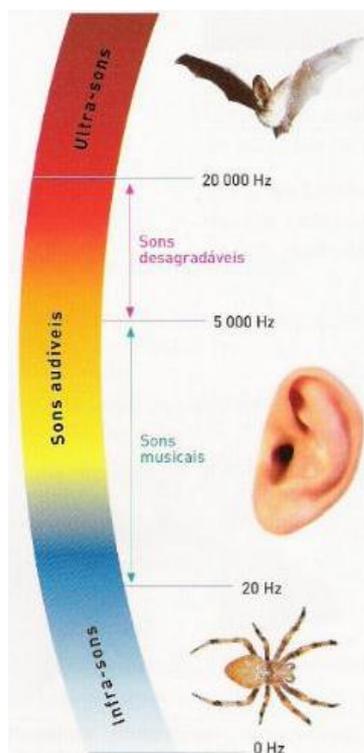


Figura 2.2 - Gamas de frequências [3]

Para a maioria das aplicações de engenharia, o maior interesse está na faixa de frequência de 100 Hz a 5 000 Hz. Embora seja possível analisar uma fonte para cada frequência, é uma situação inviável e demorada. Por esta razão, o som emitido pela fonte deve atravessar um filtro que apenas deixa passar um grupo definido de frequências denominado “bandas” de frequência correspondentes a intervalos de frequência de uma certa dimensão normalizada. A amplitude do sinal filtrado determinará o nível de pressão sonora nessa frequência.

Embora existam filtros que analisam bandas de diferentes larguras: 1/1 oitava, 1/3 oitava, 1/12 oitava, etc, os mais utilizados são os de oitava e de 1/3 de oitava.

A palavra “oitava” é emprestada da nomenclatura musical, que se refere a um período de notas, isto é, por exemplo, dó para dó. A relação entre a frequência da maior nota para a menor nota numa oitava é de 2:1.

Se f_n é a frequência de corte inferior e f_{n+1} é a frequência de corte superior, a relação dos limites de faixa é dada por:

$$\frac{f_{n+1}}{f_n} = 2^k \quad (6)$$

Onde $k=1$ para a faixa de oitava e $k=1/3$ para um terço de oitava.

Uma oitava tem uma frequência central que é $\sqrt{2}$ vezes a frequência de corte inferior e tem uma frequência de corte superior, que é o dobro da frequência limite inferior. Portanto,

$$f_1 = \frac{f_0}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

$$f_2 = \sqrt{2} \cdot f_0 \quad (8)$$

$$f_2 = 2f_1 \quad (9)$$

$$b_w = f_2 - f_1 \quad (10)$$

Onde,

f_2 – frequência limite superior;

f_1 – frequência limite inferior;

f_0 – frequência central;

b_w – largura de banda, $b_w=f_2-f_1$

Apresenta-se no quadro 2.2 uma comparação entre as bandas de oitava e 1/3 de oitava para a frequência central (f_0).

Quadro 2.2 - Comparação entre as bandas de oitava e 1/3 de oitava

Frequência central – f_0 (Hz)	
Bandas de terços de oitava	Bandas de oitava
50	
63	63
80	

100	
125	125
160	
200	
250	250
315	
400	
500	500
630	
800	
1000	1000
1250	
1600	
2000	2000
2500	
3150	
4000	4000
5000	
6300	
8000	8000
10000	

Um outro aspecto também relevante e referente ainda à análise da frequência diz respeito às curvas de ponderação.

Existe alguma complexidade no estudo da acústica devido ao facto de não existir uma concordância directa entre os fenómenos físicos (variação de pressão) e a interpretação que o sistema nervoso humano lhes dá. Esta subjectividade deve-se a diversos factores, entre os quais o facto do ouvido humano não ser igualmente sensível a todas as frequências.

Surgem assim as curvas de ponderação, curvas de igual percepção subjectiva da intensidade sonora que são numericamente escalonadas com a unidade denominada *fone*. Esta unidade toma o valor numérico do respectivo nível de pressão sonora nos 1000 Hz (ISO 226) [7], figura 2.3.

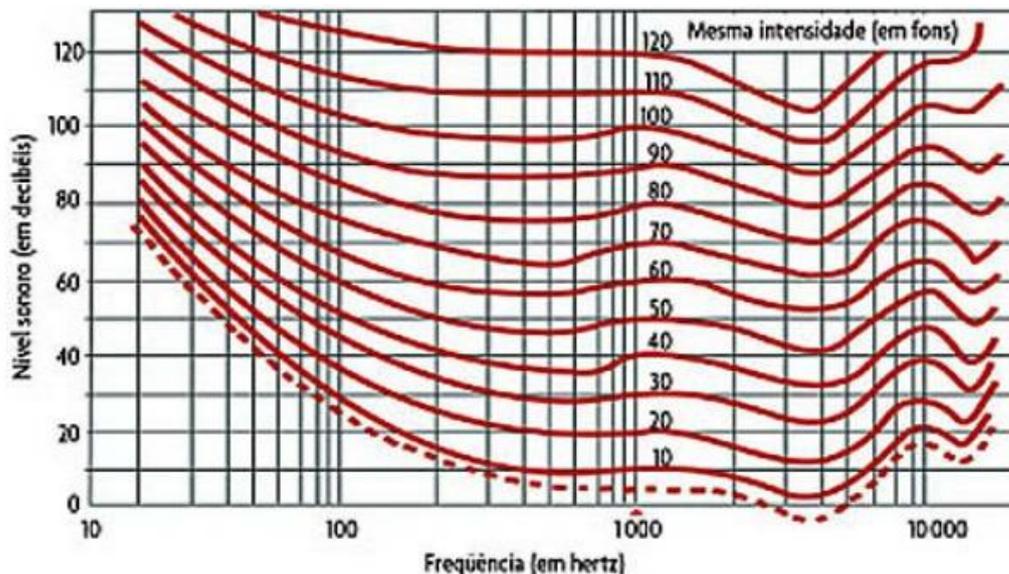


Figura 2.3 - Curvas de igual sensibilidade auditiva [8]

Nessa figura 2.3, a curva inferior a tracejado, representa o limiar da audição. Verifica-se um acentuado encurvamento nas baixas frequências o que significa a gradual perda de sensibilidade do ouvido humano para essas frequências.

Para fazer face a esta questão, em 1933 os investigadores Fletcher e Munson definiram as correções a utilizar [9]. Estas correções consistiam na introdução de filtros de ponderação nos sonómetros procurando correlacionar os valores medidos com a resposta do ouvido humano. Estes filtros foram definidos aproximadamente a partir do inverso das curvas de igual sensação auditiva de 40, 70 e 100 fone, correspondendo às malhas A, B e C, respectivamente. O campo de aplicação da malha D restringe-se aos ruídos de aeronaves. A malha A é a mais utilizada, pois é a que melhor relaciona os valores medidos com a incomodidade ou risco de trauma auditivo.

A partir destas distribuições, pode ser determinado o nível sonoro global, expresso em dB, resultante da soma energética de todas as bandas de frequência resultantes da correção do espectro do ruído perturbador por aplicação de uma determinada malha de ponderação. Normalmente recorre-se à utilização da malha de ponderação A de onde resulta o nível sonoro expresso em dB(A).

Na figura 2.4 apresenta-se a comparação entre as curvas de ponderação resultantes da utilização dos filtros A e C, já que a curva B caiu em desuso.

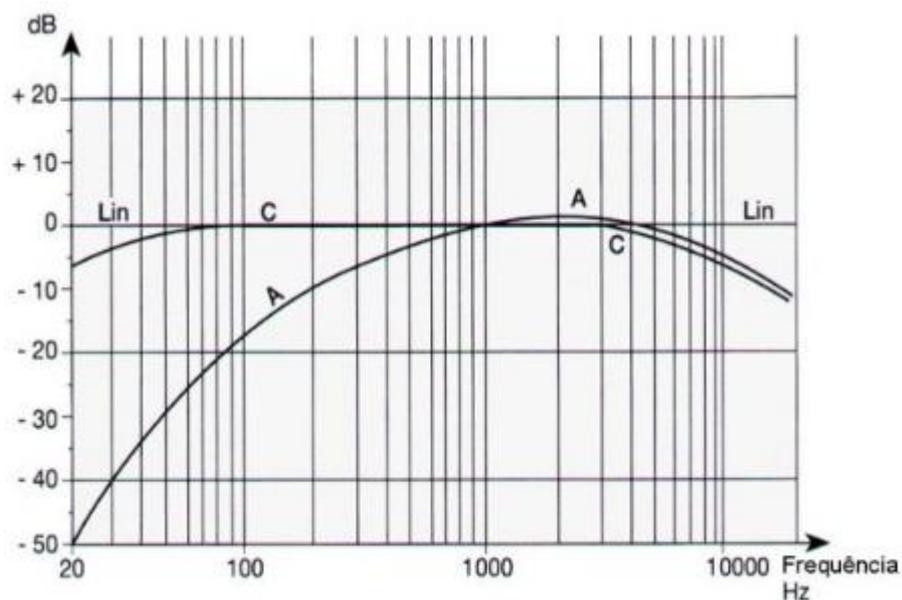


Figura 2.4 – Comparação das curvas de ponderação (filtros A e C) [8]

2.3. EFEITOS DO RUÍDO NO SER HUMANO

O ruído age sobre o organismo humano de várias maneiras, prejudicando não só o funcionamento do aparelho auditivo como comprometendo a actividade física, fisiológica e mental do indivíduo a ele exposto.

O ouvido é o órgão da audição e do equilíbrio, sendo as suas partes denominadas: ouvido externo, médio e interno (fig. 2.5). A função principal do ouvido externo e do médio é a de conduzir a energia acústica eficientemente até à cóclea, onde é convertida em impulsos eléctricos, no nervo auditivo. As ondas sonoras entram pelo meato acústico externo, atingem a membrana timpânica e fazem-na vibrar. Estas vibrações são transmitidas à bigorna e ao estribo pelo martelo. A platina do estribo, movendo-se para a frente e para trás na janela oval, faz com que o fluido coclear se mova também. O deslocamento deste fluido produz alternadamente depressões e elevações da membrana basilar. Vai chegar então ao centro auditivo do lobo temporal da córtex cerebral. 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 nos dois ouvidos fornece informação sobre a direcção de chegada, sendo necessário, por isso, manter os dois ouvidos sem perda de sensibilidade, figura 2.5.



Figura 2.5 – Esquema do ouvido humano [10]

A acção do ruído sobre o aparelho auditivo pode ocorrer de duas maneiras: perda de audição (função da frequência e da intensidade do ruído) e fadiga auditiva, trata-se de um abaixamento reversível da acuidade auditiva. Caracteriza-se pelo grau de perda de audição e pelo tempo que demora a retoma da audição normal. Quando a exposição a ruído excessivo se mantém durante muito tempo, há uma perda permanente da acuidade auditiva.

Além do dano auditivo o ruído pode interferir nos diversos órgãos e aparelhos, através de um mecanismo indirecto, activando e inibindo os sistemas nervoso central e periférico. Quando o estímulo ultrapassa determinados limites, produz-se a surdez e efeitos patológicos em ambos os sistemas, tanto instantâneos como diferidos. A níveis muito menores, o ruído produz incómodo e dificulta ou impede a atenção, a comunicação, a concentração, o descanso e o sono. A reiteração destas situações pode ocasionar estados crónicos de nervosismo e stress, o que por sua vez leva a transtornos psicofísicos, doenças cardiovasculares e alterações do sistema imunitário.

A diminuição do rendimento escolar e profissional, os acidentes de trabalho e de tráfego, certas condutas anti-sociais, são algumas das consequências.

Acção do ruído sobre o organismo em geral

- lesão do sistema auditivo – surdez;
- distúrbios gastrointestinais - altera o movimento peristáltico podendo provocar gastrites, úlceras, enjoos e vômitos;
- distúrbios relacionados com o sistema nervoso central – dificuldade em falar, problemas sensoriais, diminuição da memória, tremores das mãos, diminuição de estímulos visuais, desencadeamento ou piora de crises epiléticas.
- aceleração do pulso;
- elevação da pressão arterial;

- contracção dos vasos sanguíneos;
- dilatação da pupila;
- diminuição da resistência eléctrica da pele;
- aumento da produção hormonal da tiróide;
- aumento da incidência de doenças – constipações;
- baixa da barreira imunológica do organismo;
- dificuldade em distinguir cores;
- vertigens;
- diminuição da velocidade da percepção visual;
- cansaço geral;
- dores de cabeça.

Efeitos de natureza psicológica

Uma das consequências mais conhecidas do ruído é o transtorno do bem estar psíquico, de que pode resultar:

- irritabilidade;
- apatia;
- mau humor;
- medo;
- insónias.

Efeitos sociais e económicos

O ruído afecta de modo directo:

- a produtividade, baixando-a;
- a ocorrência de acidentes, aumentando-a;
- os conflitos laborais, aumentando-os;
- as queixas individuais, aumentando-as;
- a inteligibilidade, diminuindo-a.

No quadro 2.3 são apresentados os valores críticos dos níveis sonoros em decibéis, a partir dos quais se começam a sentir os efeitos nocivos da exposição ao ruído [11].

Quadro 2.3 - Resumo dos valores críticos [11]

dB(A)	Efeitos
30	Dificuldade em conciliar o sono Perda de qualidade do sono
40	Dificuldade na comunicação verbal
45	Provável interrupção do sono
50	Incomodo diurno moderado
55	Incomodo diurno forte
65	Comunicação verbal extremamente difícil
75	Perda de audição a longo prazo
110	Perda de audição a curto prazo

2.4. RUÍDO DE EQUIPAMENTOS

2.4.1 INTRODUÇÃO

A existência de novos serviços e mecanismos nos edifícios recentes, ainda que acarretando melhorias de qualidade de vida, pode induzir outros problemas, tais como o aparecimento de ruídos indesejados.

Estes ruídos podem ser provenientes de instalações de água e esgotos, instalações eléctricas, elevadores, sistemas de condicionamento do ar (equipamentos AVAC), portas automáticas de garagens, ventiladores de instalações sanitárias e cozinhas, máquinas de lavar roupa, máquinas de lavar loiça, etc. Contudo, este problema pode ser evitado ou muito minimizado aliando as fases de projecto e instalação dos equipamentos.

Na fase de projecto devem ser escolhidos e dimensionados os equipamentos em função do tipo de utilização de que irão ser alvo assim como escolher a localização mais adequada ao futuro posicionamento de máquinas, afastando-as dos locais mais sensíveis, e prever materiais ou sistemas auxiliares para desligar todas as fontes potenciais de vibração da estrutura.

Na fase de instalação dos equipamentos devem ser seguidas todas as regras impostas pelo projecto providenciando a correcta dessolidarização entre as máquinas e as tubagens e entre as tubagens e as paredes, colocando apoios anti-vibráticos consoante estejam nas paredes e piso ou no tecto e mangas de borracha nas tubagens de modo a impedir que a vibração da canalização passe para a estrutura. Além disso devem ser apertadas todas as peças soltas, alinhar direcções, equilibrar e lubrificar todos os mecanismos e substituir todos os suportes rígidos por suportes de borracha.

Esta questão acerca do ruído dos equipamentos ganhou uma importância relevante pois à medida que eram instalados nos edifícios cada vez mais tubagens e máquinas, também aumentavam as reclamações dos seus ocupantes relativamente à ocorrência de ruído excessivo e intrusivo. Assim, por volta de 1920, foi reconhecido que o ruído poderia condicionar negativamente os ocupantes dos edifícios, tanto em termos de produtividade, como em termos de incomodidade. A partir de então aumentou o ênfase sobre o conforto acústico e a qualidade sonora, dando origem a novos critérios de conforto acústicos no interior dos espaços.

Os critérios acústicos foram criados como forma de analisar de uma forma simples se determinada reclamação era considerada válida ou não. Estes critérios tornaram-se cada vez mais complexos, à medida que os métodos de avaliação eram desenvolvidos no sentido de entender as características necessárias para se atingir um ambiente acústico satisfatório. Hoje em dia, cada espaço interior de edifícios públicos apresenta um critério acústico específico que tem em consideração a ocupação e actividades desse espaço.

2.4.2 CRITÉRIOS DE CONFORTO ACÚSTICO

São dois os critérios de conforto acústico principais para este tema: o nível sonoro global e as curvas de incomodidade.

O ideal seria utilizar métodos de avaliação e critérios que resultassem na obtenção de valores únicos. Contudo, torna-se necessário aplicar as devidas correcções para adaptar a escala “linear” de medida à escala “ponderada” que reflectirá melhor a percepção auditiva do ouvido humano, questão que se desenvolveu no ponto 2.2. Com a introdução destas correcções resultará um valor único global expresso em dB(A), dB(B) ou dB(C), consoante as malhas de correcção utilizadas.

No entanto, a utilização deste método, de valor único, não se afigura suficientemente adequada por não considerar a descrição espectral do ruído perturbador. Por esta razão, foram desenvolvidos outros métodos que tivessem em consideração a descrição espectral do ruído e que resultaram na definição das curvas de incomodidade. Cada curva traduz também um “valor único”, determinando todavia uma descrição espectral bem conhecida para o ruído em análise.

As curvas de incomodidade são actualmente usadas pelos técnicos em acústica, engenheiros, arquitectos e outros para quantificar os ruídos de fundo, estáveis e contínuos, provocados por equipamentos, em especial sistemas de AVAC, ou outras fontes de ruído. Por norma, a utilização destas curvas resulta da comparação entre os valores pré-definidos das curvas e a sobreposição da curva gerada pela medição dos níveis de pressão sonora nos locais mais ruidosos da sala.

As curvas de incomodidade mais importantes para o tema em estudo nesta dissertação são as curvas NC (*noise criteria*), NR (*noise rating*) e RC (*room criteria*).

As curvas NC - *Noise Criteria* - foram desenvolvidas nos Estados Unidos da América, em 1957 por *Beranek*, através da análise de um inquérito efectuado a várias pessoas que permaneciam a maior parte do dia em fábricas, espaços públicos, escritórios, entre outros, e da caracterização dos respectivos níveis de intensidade sonora em cada ambiente, sujeito a ruídos provocados por equipamentos mecânicos sobretudo equipamentos de ar condicionado, com descrição espectral por bandas de oitava. O resultado desse estudo privilegiou a inteligibilidade da palavra e a possibilidade de criar condições acústicas adequadas ao desfrute de programas televisivos ou radiofónicos [12].

Este critério recorre ao método tangencial, através do qual é possível identificar uma curva NC que corresponde à curva a cujas bandas máximas do espectro de ruído mais se aproximam, sem a ultrapassar. Ou seja, são apresentadas um conjunto de curvas que definem os níveis de pressão sonora em função da gama de frequências que se estende dos 63 Hz aos 8000 Hz. Estas curvas definem o limite que o espectro do nível de pressão sonora pode exceder em função do tipo de ocupação do espaço de forma a fornecer boas condições aos utilizadores. Para se obter o valor de NC de um determinado local, é marcado sobre estas curvas o espectro de um ruído medido nesse local. Após a marcação verifica-se qual o ponto em que o menor valor da curva NC não é excedido por nenhum valor do nível de pressão sonora do ruído medido. Isto é, a primeira curva NC que excede todos os valores do ruído medido corresponde à classificação NC desse espaço, ou seja é a tangente.

As curvas de incomodidade NC são mais frequentemente utilizadas nos Estados Unidos da América, figura 2.6.

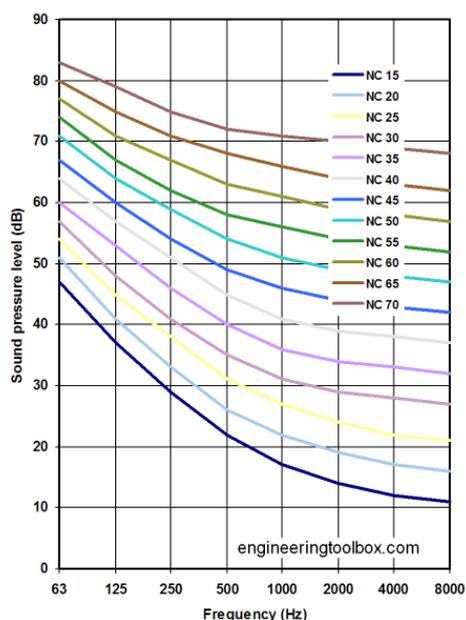


Figura 2.6 - Curvas NC – *Noise Criterion* [13]

Para uma melhor compreensão da aplicação das curvas NC apresenta-se um exemplo (quadro 2.4).

Quadro 2.4 – Valores obtidos de um espectro de ruído

Espectro de ruído medido								
Frequência (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Nível de pressão sonora (dB)	40	50	55	60	50	55	45	45

Com a marcação destes valores (quadro 2.4) nas curvas NC estima-se um valor para NC de 57 dB, conforme indicado na figura 2.7.

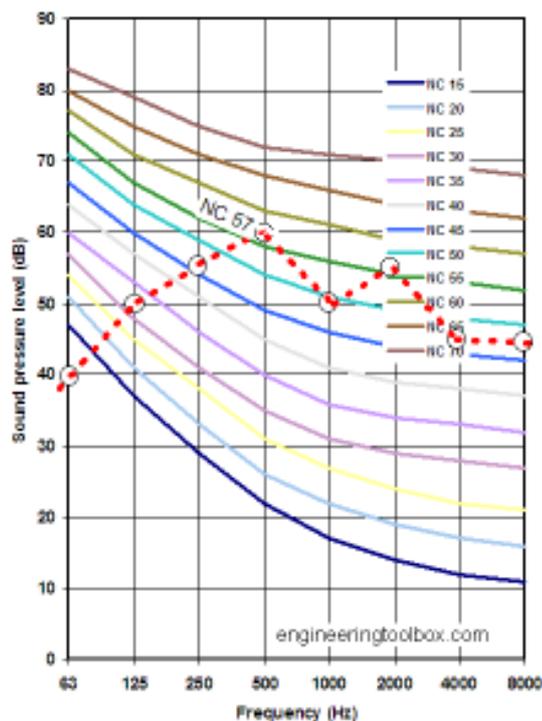


Figura 2.7 - Exemplo de aplicação das curvas NC [13]

As curvas NR – *Noise Rating* – foram desenvolvidas em 1962 por *Kosten e VanOs* que estabeleceram esse conjunto de curvas muito similar às curvas NC, recorrendo também ao método tangencial e que posteriormente foram institucionalizadas pela Organização Internacional de Normalização (ISO), sendo actualmente as mais utilizadas na Europa [6].

Apesar de algumas diferenças na definição espectral das curvas, os valores critério das curvas NR, definidos em função da utilização dos espaços ocupados, podem considerar-se equivalentes aos valores NC (figura 2.8). A diferença está na gama de frequências, que abrange desde os 32 Hz aos 8000 Hz.

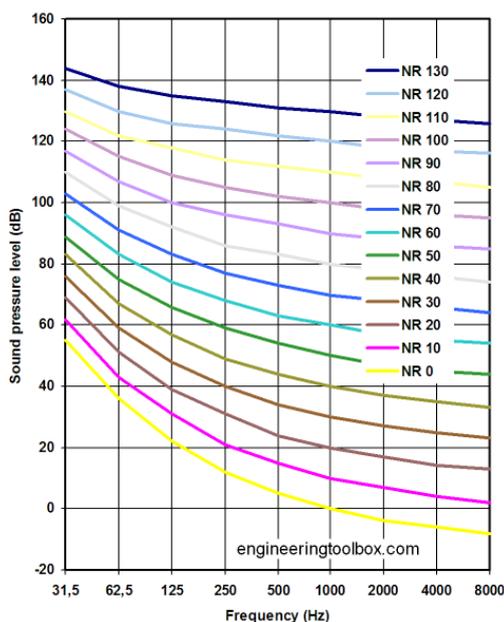


Figura 2.8 - Curvas NR – *Noise Rating* [13]

Para uma melhor compreensão da aplicação das curvas NC apresenta-se um exemplo (quadro 2.5).

Quadro 2.5 - Valores obtidos de um espectro de ruído

Espectro de ruído medido									
Frequência (Hz)	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Nível de pressão sonora (dB)	40	40	50	55	60	50	55	45	45

Com a marcação destes valores nas curvas NR estima-se um valor para NR de 58 dB, conforme indicado na figura 2.9.

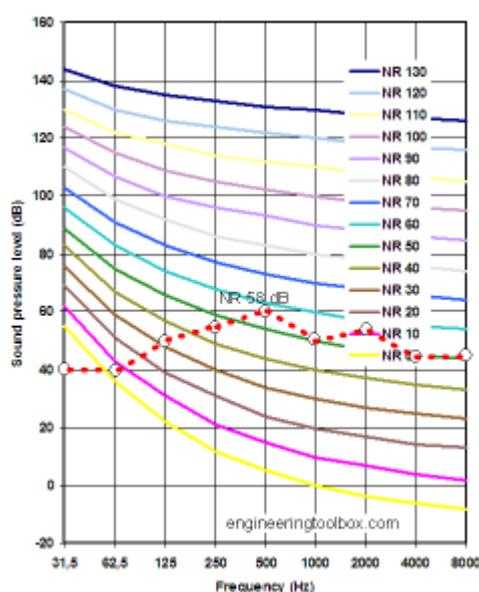


Figura 2.9 - Exemplo de aplicação das curvas NR [13]

As curvas RC – *Room Criteria* – foram desenvolvidas em 1981 por *Warren Blazier* para avaliação do impacto do ruído causado pelos equipamentos de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC). Elas permitem uma caracterização dupla do espectro sonoro de um ruído, na forma geral RC xx(yy), onde xx indica a classificação RC e yy fornece informação acerca do balanceamento espectral desse ruído, de acordo com as seguintes características: “neutro” (*neutral*), “ronco” (*rumble*) com ou sem excitação vibrática estrutural de paramentos, “silvo” (*hiss*) ou “tonal” (*tonal*) [12].

Complementarmente as curvas RC, permitem ainda a análise das componentes de baixa frequência nas bandas de 16, 31 e 63 Hz, respeitante à probabilidade de indução de ruído por radiação sonora a partir de paramentos aligeirados da envolvente do espaço. Neste contexto são definidas duas regiões, A e B (figura 2.10). Se os níveis de pressão sonora do ruído perturbador estiverem na região A existirá uma “probabilidade elevada” de ser produzido ruído induzido por vibração de paramentos aligeirados, facilmente perceptível como estímulo audível ou ao tacto; Se os níveis de pressão sonora do ruído perturbador estiverem na região B existirá uma “probabilidade moderada” de ser produzido ruído induzido por vibração de paramentos aligeirados [12].

Os equipamentos mecânicos, cada vez mais utilizados nos edifícios, como condutas de distribuição de água, ventilação ou climatização, são potenciais fontes de ruído de baixa frequência. O ruído de baixa frequência é muito invasivo e normalmente é acompanhado por vibração. Trata-se de um ruído com predominância nas frequências de 20 Hz a 200 Hz, embora sejam as frequências entre 30 e 40 Hz, em geral, as mais perturbadoras para o ser humano (figura 2.11).

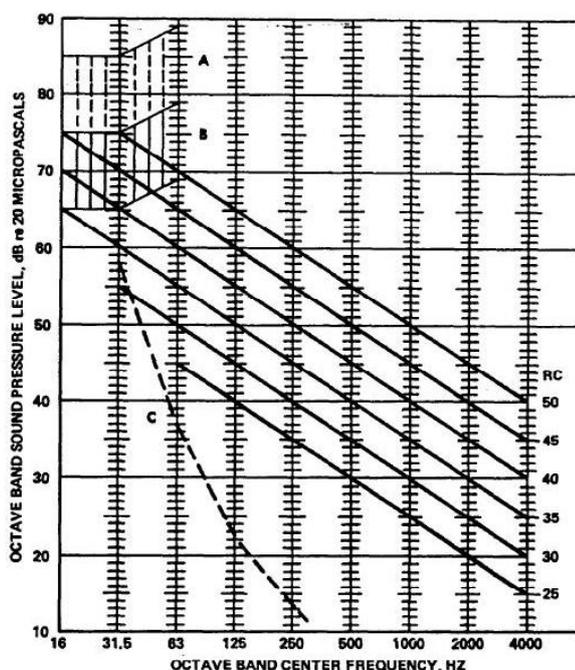


Figura 2.10 - Curvas RC – Room Criteria [13]

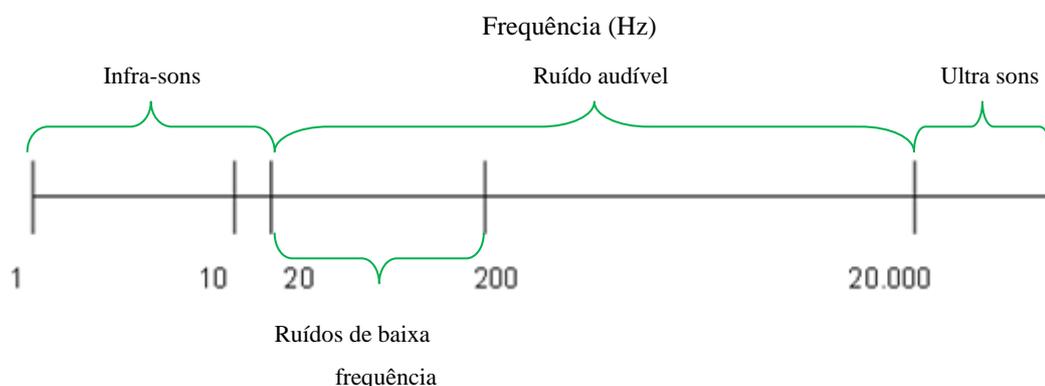


Figura 2.11 - Diferentes tipos de som consoante a frequência [14]

Os ruídos de baixa frequência, abaixo dos 500 Hz, apesar de poderem ser notados pelo ouvido humano na maioria dos casos, não parecem incomodar, mas geram uma reacção do organismo em casos de exposição prolongada. Vários estudos científicos têm sido efectuados para compreender essa reacção. Depois de terem identificado que o ruído de baixa frequência, associado à doença vibro-acústica, afecta órgãos como o coração, os pulmões ou o estômago, actualmente descobriu-se que este tipo de poluição ambiental também provoca efeitos nocivos na glândula parótida, a maior glândula salivar, o que pode conduzir a uma diminuição da produção de saliva que é um importante elemento de defesa das estruturas orais.

2.4.3. AVALIAÇÃO DO RÚIDO DOS EQUIPAMENTOS

O nível de avaliação do ruído particular de equipamentos colectivos do edifício (L_{Ar}) é apresentado no quadro 2.6. O ruído pode ser classificado de muito incomodativo a muito pouco incomodativo em função dos valores do nível sonoro e do funcionamento (contínuo ou intermitente) dos equipamentos. Caso se desconheça o funcionamento dos equipamentos deve considerar-se a situação mais gravosa que, como se pode observar pelo quadro 2.6 corresponde ao funcionamento contínuo.

Quadro 2.6 – Escala de classificação dos valores de L_{Ar} [15]

Classificação	Valores de L_{Ar} , funcionamento intermitente (dB)	Valores de L_{Ar} , funcionamento contínuo (dB)
Muito pouco incomodativo	≤ 27	≤ 22
Pouco incomodativo]27;30]]22;25]
Incomodativo]30;35]]25;30]
Muito incomodativo	> 35	> 30

O parâmetro L_{Ar} , nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular de equipamentos, ao qual é descontada a componente de ruído residual, e se aplicam eventuais correcções devidas à existência de características tonais e/ou impulsivas do ruído particular, é determinado de acordo com a expressão (11) imposta pelo RRAE [15]. Admitindo um tempo de reverberação médio da sala (T) de 0,5 s a correcção $10.\log(T/T_0)$ é nula.

$$L_{Ar,nT} = L_A + K - 10.\log\left(\frac{T}{T_0}\right) \text{ (dB)} \quad (11)$$

Onde,

K – correcção (3 dB(A)) devido às características tonais do ruído (isto é, se pelo menos uma banda de 1/3 de oitava sobressair em pelo menos 5 dB em relação às duas bandas adjacentes, na gama dos 50 aos 8 kHz e avaliado com filtro A);

L_A - nível sonoro contínuo equivalente do equipamento durante um intervalo de tempo específico no local da recepção (com um tempo de reverberação de T).

3

EQUIPAMENTOS DE AVAC

3.1. GENERALIDADES

Os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado, também conhecidos por sistemas de AVAC, foram pensados para fornecer ar de qualidade aos espaços interiores confinados além de equilibrarem a temperatura ambiente. Estes sistemas asseguram pelo menos duas das seguintes funções: aquecimento, arrefecimento, humidificação e desumidificação.

Há algumas décadas atrás, a utilização deste tipo de equipamentos era considerado um luxo, hoje passou a ser uma necessidade que se tem vindo a traduzir no aumento considerável da procura deste tipo de equipamentos.

A utilização destes equipamentos é particularmente importante em edifícios públicos, edifícios de escritórios, tribunais, escolas, hospitais, centros comerciais, teatros, entre muitos outros, onde as condições de temperatura, humidade e renovação do ar são extremamente importantes.

Com a utilização destes sistemas permite-se o controlo da temperatura interior do ar ambiente, equilibrando as cargas internas sensíveis, retirando ou introduzindo energia térmica ao local, por motivo de acumulação ou perdas de calor; o controlo da humidade do ar ambiente, equilibrando as cargas latentes, seja por humidificação ou por desumidificação; reduz as impurezas, tais como odores e produtos nocivos e renova o ar ambiente, introduzindo ar novo, por forma a limitar principalmente os níveis de dióxido de carbono.

A denominação AVAC, é resultado da evolução das técnicas da especialidade no tratamento e qualidade do ar interior. Portanto, há uma história sobre esta especialidade mecânica que, de forma sucinta, será resumida neste capítulo para melhor se compreender o processo evolutivo e o estado da arte.

3.2. BREVES APONTAMENTOS HISTÓRICOS DO AQUECIMENTO, VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO

O sistema AVAC baseia-se em invenções e descobertas feitas por *Michael Faraday*, *Willis Carrier*, *Trane Reuben*, *James Joule*, *William Rankine*, *Sadi Carnot* e muitos outros [16].

O primeiro sistema de aquecimento central data de 211-217 d.C, foi creditado aos romanos, que instalaram um sistema de condutas de ar chamado de “*hypocaust*” nas paredes e pisos de casas de banho públicas e moradias privadas (figuras 3.1 e 3.2). Este sistema consistia em construir as habitações sobre uma estrutura em alvenaria de pedra deixando uma caixa de ar entre o solo e esta. Era então queimado carvão de lenha cujos fumos eram transportados pela caixa de ar, por convecção natural, através de condutas verticais com uma abertura superior.

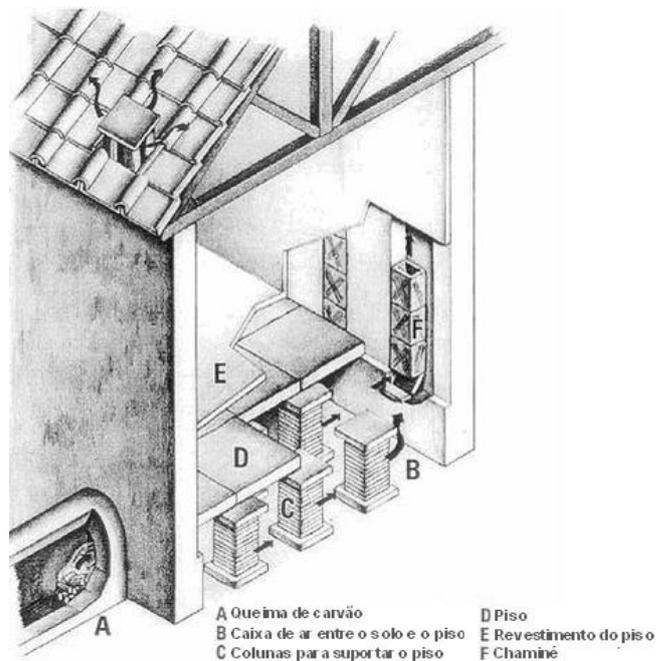


Figura 3.1 – Esquema ilustrativo do “*hypocaust*” [17]

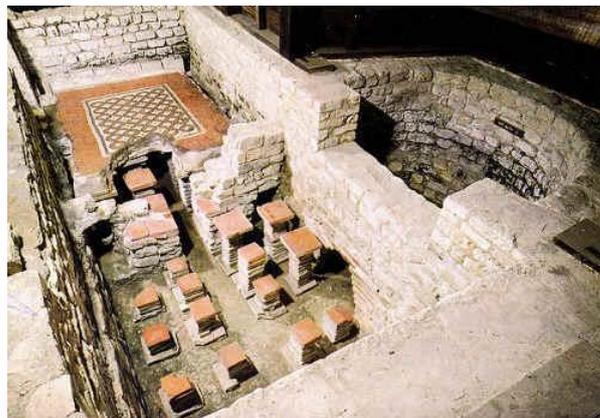


Figura 3.2 – Ruínas de um sistema “*hypocaust*” [17]

Só no final do século XIX são desenvolvidas as primeiras teorias científicas sobre a higiene e estudos experimentais nas empresas referentes ao movimento, humidade, pureza e teor de gás (gás carbónico), por Michel Lévy [16].

O progresso da electromecânica permite a aplicação de ventiladores accionados electricamente, a corrente contínua, destinados à ventilação e ao aquecimento de grandes volumes de ar. A sua purificação faz-se por meio de filtros em tecido ou película de carvão.

Em 1890 surgem os processos de humidificação do ar obtidos a partir do aquecimento a vapor de grandes recipientes de água e posteriormente por pulverização de água através de injectores. É a partir de agora que começa a utilização do ar condicionado.

No início do século XX surgem os primeiros aparelhos de ar condicionado, com baterias de pré-aquecimento, rea aquecimento e caixas de humidificação (figura 3.3). *Willis Carrier* é considerado o pai do ar condicionado [16].

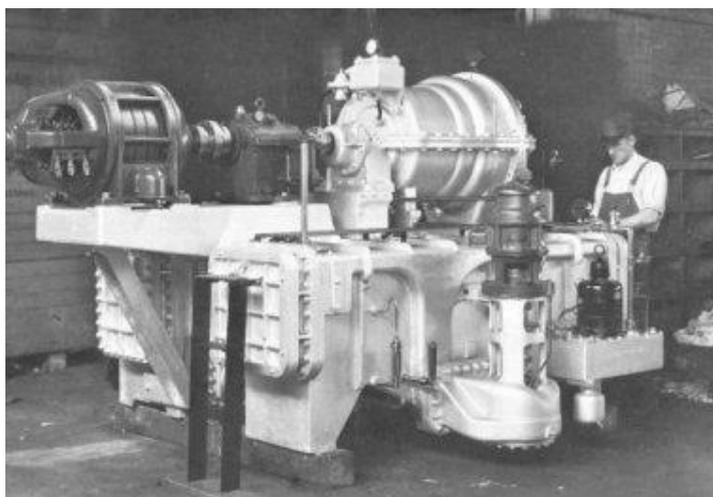


Figura 3.3 – Primeira máquina de refrigeração comercial 1923 [18]

Em 1920 aplicam-se as primeiras instalações centralizadas de ar condicionado para melhorar o bem estar das pessoas, em teatros, cinemas e edifícios de escritórios. É ainda nos anos vinte que se desenvolvem as primeiras máquinas frigoríficas a amoníaco destinadas ao arrefecimento e desumidificação do ar. No entanto, só na década seguinte aparecem os verdadeiros aparelhos de ar condicionado constituídos por caixas contendo todos os elementos necessários ao tratamento integral do ar: máquinas frigoríficas, ventiladores, baterias de aquecimento, filtros, etc.

A partir de 1945, o ar condicionado faz novos progressos, surgindo novos sistemas se revelam. A partir de então a sua utilização começa verdadeiramente a implantar-se um pouco por todo o mundo.

Actualmente, pode afirmar-se sem qualquer exagero, que o AVAC é uma especialidade imprescindível em qualquer espaço fechado quer seja um edifício de escritórios ou mesmo um hospital.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DE INSTALAÇÃO E SISTEMA DE AVAC

O termo AVAC, vulgarmente utilizado na designação dos sistemas de climatização, refere-se aos sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado. Várias vezes os conceitos de climatização e condicionamento do ar são entendidos como sinónimos, no entanto, há uma diferença entre eles.

Enquanto as instalações de climatização funcionam com uma certa percentagem de ar novo, vindo do exterior, as instalações de condicionamento do ar, utilizam pouca ou mesmo nenhuma introdução de ar

exterior. Como já foi referido atrás, qualquer sistema de climatização tem como objectivo assegurar as condições ambiente compatíveis com a fisiologia do organismo humano, proporcionando conforto e bem-estar, sendo usados hoje em dia em todos os espaços fechados sejam eles centros comerciais, hospitais, escolas, escritórios, habitações ou mesmo automóveis. Por outro lado, as instalações de condicionamento são sobretudo destinadas à indústria seja ela completamente robotizada ou não.

Para sistematizar alguma dúvida referente a este assunto, estabelece-se que uma instalação de AVAC, ou de Ar Condicionado, ou ainda de Climatização, diz respeito a um sistema de tratamento do ar (incluindo ou não ar exterior), englobando os equipamentos de produção de fluidos térmicos para o aquecimento e/ou arrefecimento do ar e todos os materiais e acessórios indispensáveis ao correcto funcionamento da mesma.

O sistema de AVAC diz respeito ao processo de tratamento do ar, podendo ser parcial ou total, consoante o número de transformações termodinâmicas a que este é submetido para se atingirem os objectivos pretendidos, independentemente de possuir ou não filtragem.

A instalação de um sistema de AVAC deverá ser sempre precedida por um projecto, independentemente de se tratar de um edifício de grande dimensão ou de uma residência privada, e que deverá ser da responsabilidade de um engenheiro habilitado para a sua correcta execução. No entanto a complexidade do projecto pode variar consoante o edifício em causa. Por exemplo, o projecto da instalação de um sistema de AVAC num edifício grande, é uma tarefa complexa que poderá levar meses ou mesmo anos a estar concluída e a envolver várias pessoas na sua execução. Por outro lado, o projecto de uma pequena habitação é simples e envolve apenas uma ou duas pessoas.

Ao projectista cabe as tarefas de calcular as cargas térmicas de aquecimento e de arrefecimento, dimensionar as tubagens e condutas, seleccionar o tipo e a dimensão do equipamento, definir a localização dos diversos componentes do equipamento de forma a seleccionar o melhor sistema a adoptar para o edifício em causa.

A instalação do sistema na obra deve ser realizada por pessoal técnico qualificado. Durante a fase de exploração do edifício, a condução e a manutenção do sistema AVAC devem ser executadas de modo a manter as condições de conforto ambiental dentro do edifício, minimizando os consumos de energia e garantindo que o sistema esteja sempre em boas condições de funcionamento.

Existem inúmeros tipos de sistemas de AVAC e formas de serem utilizados para controlar as condições ambientais no interior dos edifícios. Em cada aplicação, o projectista deve considerar as características de cada sistema e decidir qual a melhor solução a adoptar.

3.4. EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS E AUXILIARES DE AVAC

3.4.1. CONCEITOS

Qualquer instalação de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado deve ser capaz de manter ao longo de todo o ano e em todos os ambientes condicionados, a temperatura, a ventilação, e a humidade relativa, dentro dos limites requeridos para proporcionar condições de conforto aos ocupantes.

Controlar a temperatura ambiente pode revelar-se uma tarefa difícil principalmente em grandes edifícios. Manter a temperatura dentro dos limites impostos no projecto pode tornar-se uma tarefa complexa, já que normalmente, neste tipo de espaços, existem simultaneamente zonas que necessitam ser aquecidas e outras arrefecidas. Isto tem a ver não só com o tipo de actividade que se pratica no edifício mas também da sua exposição solar e aberturas para o exterior.

O controlo da humidade relativa trata-se de uma tarefa mais simples. Esta pode ser conseguida de uma forma controlada desde que os efeitos da carga sensível, calor associado ao aumento da temperatura interna, e da carga latente, calor associado ao aumento da humidade, sejam controlados separadamente. Quando o processo de remoção da carga sensível¹ e da carga latente², é feito em simultâneo, como é exemplo o processo que ocorre numa bateria de arrefecimento, surgem dificuldades no controlo da humidade relativa porque o funcionamento da bateria é comandado normalmente pelo termóstato [19].

- 1- Carga sensível: é a energia dos movimentos das moléculas. Pode ser medida pelo termómetro.
- 2- Carga latente: é a energia da disposição e separação das moléculas. Trata-se da quantidade de calor que é perdido ou absorvido numa substância de modo a mudar o seu estado físico. Não pode ser medida pelo termómetro. A transferência da carga latente é a principal forma de remoção de calor dos sistemas de refrigeração mecânica.

Quando o ar é desumidificado, a humidade é removida do ar. Uma técnica comum utilizada para remover a humidade é condensar a humidade numa superfície fria. Por exemplo, ao deitar uma bebida fria num recipiente num dia húmido e quente sabe-se que a humidade irá condensar no copo. O ar ao ser arrefecido perde a sua capacidade de reter humidade; no caso do copo frio, a humidade do ar condensa-se na parede de vidro do copo. A humidade no interior de um espaço é condensada praticamente da mesma maneira. O equipamento AVAC sopra o ar através da serpentina fria da unidade que condensa a humidade. Ao mesmo tempo que a humidade do ar é condensada, a temperatura desce. A humidade condensada do ar é conhecida como calor latente e a mudança de temperatura do ar é conhecida como calor sensível.

Para se entender melhor este processo, dá-se alguns exemplos. Numa escola o índice de ocupação depende do horário, do dia e do ano e, por esta razão, este tipo de espaço requer um sistema que possa atender a cargas sensíveis e latentes variáveis. Quando uma sala de aula ou um auditório está cheio, a carga latente será muito alta e o equipamento de AVAC deve controlar a carga do modo mais eficiente possível. A variação da quantidade de ar externo no ambiente pode requerer um controle máximo de desumidificação apenas para a parte da carga sensível. Uma humidade relativa elevada, um arrefecimento brusco ou flutuações de temperatura podem causar desconfortos significativos para estudantes e funcionários.

Nas bibliotecas, estas aplicações requerem um forte controlo de temperatura e humidade durante a operação com carga parcial e plena. Altos índices de humidade nestas estruturas podem causar danos substanciais para livros inestimáveis. Quando objectos históricos preciosos são expostos ou armazenados, é necessário um controle preciso de temperatura e humidade. O compressor modulante e reaquecimento modulante atende plenamente à necessidade deste tipo de aplicação.

O equipamento AVAC deve assegurar uma pureza do ambiente adequada e manter a velocidade do ar das zonas ocupadas dentro dos limites requeridos. Caso o ar insuflado no ambiente seja variável, o ar em contacto com os ocupantes pode ser deficiente devido à baixa velocidade do ar. Caso isto aconteça, a diluição dos contaminantes torna-se insuficiente e o ruído pode tornar-se incomodativo.

Portanto, a plena compreensão deste sistema de climatização, nomeadamente as suas características e limitações é essencial para se saber até que ponto será adequado ou não, para um determinado caso particular de climatização.

Para entender melhor qual a adequabilidade dos sistemas de AVAC há que definir a posição dos seus equipamentos principais e auxiliares e fluidos que são utilizados.

Os equipamentos podem dividir-se em: equipamentos centralizados, equipamentos terminais, equipamentos intermédios e acessórios e equipamentos de regulação.

Os *equipamentos centralizados* têm por finalidade a preparação dos fluidos primários (ar quente e/ou refrigerado, água quente e/ou refrigerada, ar e água simultaneamente, fluido refrigerante) que serão distribuídos aos equipamentos terminais de instalação. Podem situar-se:

- No local a climatizar, sendo sensíveis, nas situações de climatização individual (condicionadores individuais);
- Próximo dos locais a climatizar (armários de climatização, condicionadores de tecto, etc.);
- Numa sala própria, vulgarmente designada por central técnica.

Quanto aos *equipamentos terminais*, estes encontram-se normalmente situados no local a climatizar ou o mais próximo deste. Recebem os fluidos primários preparados pelos equipamentos centralizados e utilizam-nos para tratar o ar a insuflar directamente no local. Estes aparelhos podem ser unidades ou uma simples boca de insuflação (grelhas ou difusores).

Os *equipamentos intermédios* e acessórios, tal como o nome indica, são instalados entre os equipamentos centralizados e os equipamentos terminais dos locais a climatizar. Asseguram a distribuição dos fluidos primários através de condutas e tubagens com um determinado número de acessórios de funcionamento.

Por fim, os *equipamentos de regulação* compreendem os equipamentos de medida, de controlo, de regulação e de segurança (sondas, termóstatos, reguladores).

3.4.2. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE AVAC

Os sistemas de AVAC podem ser classificados segundo o tipo de fluido ou fluidos primários que se empregam nos equipamentos terminais existentes nos ambientes, para anular o efeito das cargas térmicas latentes e sensíveis desses mesmos ambientes. Os fluidos primários essencialmente utilizados são o Ar, a Água e o Refrigerante.

Podem então ser definidos os seguintes quatro grupos de sistemas de climatização de ar:

- Sistemas Tudo Ar;
- Sistemas Tudo Água;
- Sistemas Água-Ar (sistemas mistos);
- Sistemas de Expansão Directa de um Fluido Refrigerante (*Split*).

Outra classificação pode ainda ser efectuada relativamente ao tipo de instalação do equipamento. Consoante a localização dos equipamentos de produção de calor e frio inerentes aos sistemas temos:

- Sistemas individuais: os equipamentos de produção de calor ou frio são compactos, fabricados em série, utilizam o sistema de expansão directa de um fluido refrigerante, servem apenas um local e estão próximos dos ambientes que condicionam.

- Sistemas centralizados: equipamentos de produção de calor ou frio estão localizados num local específico afastado dos locais a climatizar. Podem servir vários locais através da distribuição do fluido de transferência de energia (ar, água ou fluido refrigerante) pelos equipamentos terminais em contacto directo com o ambiente dos locais climatizados.

- Sistemas semi-centralizados.

3.4.3. DEFINIÇÃO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO DO AR

3.4.3.1. SISTEMAS TUDO AR

Nos sistemas tudo ar, a remoção da carga térmica das diversas zonas do edifício é efectuada pela distribuição do ar que é tratado nos sistemas individuais ou nos sistemas centralizados.

Os *Chillers*/Bombas de calor e Caldeiras, existentes nos locais técnicos, produzem água gelada ou água quente que asseguram a produção primária de frio e de calor, utilizando fluidos refrigerantes e água, necessária aos equipamentos de tratamento de ar. O ar depois de tratado é distribuído a todos os compartimentos pelos dispositivos terminais que devem assegurar que todo o ar é renovado e anulada a carga térmica.

Estes sistemas, podem ainda subdividir-se em dois grupos de acordo com a distribuição de ar:

- Sistemas com percurso simples, conduta simples ou Unizona;
- Sistemas com percurso duplo, Multizona.

i) Sistemas com percurso simples (Unizona)

Neste sistema o ar quente ou frio a distribuir é tratado numa unidade central e distribuído por uma única conduta até ao local a climatizar e as baterias principais de aquecimento e de arrefecimento estão montadas em série. A temperatura do ar que chega a cada um dos locais é idêntica em todos.

Os sistemas com percurso simples mais usuais são:

- a) Sistema com Volume de Ar Constante Unizona ou Zona Simples;
- b) Sistema com Volume de Ar Constante com Reaquecimento Terminal;
- c) Sistema com Volume de Ar Variável;
- d) Sistema com Volume de Ar Variável com Reaquecimento.

a) Sistema com percurso Simples – Unizona - Volume de ar constante

Este tipo de sistema é o mais simples e é, regra geral, aplicado quer a locais de grande volume como auditórios e teatros onde existe apenas uma zona térmica, quer a edifícios muito compartimentados onde as condições de temperatura e humidade entre compartimentos não são significativas.

O ar insuflado, tratado na unidade de tratamento, é distribuído a todos os compartimentos nas mesmas condições de temperatura e humidade. Este tratamento é feito através de termóstatos e humidostatos. Para garantir que a temperatura e a humidade relativa estão sempre controladas, é necessário que no Inverno se proceda a um aquecimento sensível seguido de um processo de humificação e no Verão se controle o processo de arrefecimento e desumificação.

Vantagens do sistema:

- Simplicidade;

- Caudal de insuflação sempre constante durante todo o ano, independentemente da estação;
- Com os sistemas de volume de ar constante obtém-se uma distribuição do ar na zona térmica sempre constante e independente do regime de funcionamento do sistema.

Desvantagens do sistema:

- Elevado consumo de energia associado ao funcionamento dos ventiladores;
- Não há diferenciação no controlo da temperatura dos diferentes espaços, o que limita a sua aplicação.

b) Sistema com percurso Simples – Volume de ar constante com reaquecimento

No caso de se estar perante um edifício muito compartimentado com cargas térmicas distintas em cada compartimento, o controle da temperatura de cada um pode ser conseguido complementando o sistema anterior com baterias de reaquecimento terminal instaladas na conduta de insuflação de ar junto de cada compartimento. Este reaquecimento pode ser feito com água quente, vapor ou electricidade e é controlado pelo termóstato de cada compartimento.

Ao controlar-se as cargas térmicas em cada divisão, vai-se alterar a humidade relativa do ar. Ou seja, a humidade relativa será diferente de divisão para divisão. No caso de se pretender controlar este parâmetro, deve ser adicionado ao sistema um conjunto de humidificadores terminais cujo desempenho é controlado pelos humidostatos.

Vantagens do sistema:

- Permite o controlo da temperatura e humidade relativa em cada zona condicionada;
- Exige menos espaço disponível para o traçado de condutas uma vez que se trata de um percurso simples.

Desvantagens do sistema:

- Durante o período de arrefecimento tem de se fornecer energia ao sistema para arrefecer e desumidificar o ar na bateria para depois voltar a fornecer energia para o reaquecimento terminal.

c) Sistema com Volume de Ar Variável (VAV)

Este tipo de sistema é aplicado nos locais de um edifício onde é necessário o arrefecimento durante todo o ano.

Neste sistema o ar é tratado e insuflado a temperatura constante para todas as divisões. No final de cada ramificação é instalada uma unidade terminal de volume de ar variável, difusores. Esta unidade irá fazer variar o caudal de insuflação em função da carga térmica em cada divisão de modo a controlar a temperatura nesse local. Ou seja, os difusores apenas permitem entrar no compartimento o ar necessário para que misturado com o ar presente dê a temperatura pretendida.

No Verão, acontece normalmente que a temperatura exterior seja superior à interior. Neste período processa-se ao arrefecimento e eventual desumidificação na bateria de arrefecimento de modo que a temperatura de insuflação seja sempre constante.

No Inverno, a temperatura de insuflação é controlada através da mistura de ar novo e ar de recirculação.

Além do controlo da temperatura dos diferentes locais deve existir o controlo da pressão estática na condução de distribuição. Este controlo pode ser conseguido através da regulação automática de um registo instalado a jusante do ventilador ou então fazendo variar a velocidade de rotação do ventilador e garantirá uma pressão estática constante a montante de cada unidade terminal de VAV impedindo que a restrição de escoamento imposta pela acção do controlo termoestático de algumas zonas interfira no funcionamento das restantes unidades terminais.

Vantagens do sistema:

- A principal vantagem deste sistema consiste na economia de energia alcançada com a redução do consumo energético envolvido na movimentação do ar devido ao facto de se distribuir apenas a quantidade de ar necessária em cada instante para obter as condições interiores.

Desvantagens do sistema:

- Quando a carga térmica assume valores baixos, a distribuição do ar no ambiente pode tornar-se deficiente e a ventilação pode não ser assegurada devido ao caudal insuflado ser baixo.

- Campo de aplicação limitado a espaços interiores dos edifícios caracterizados por necessidades de arrefecimento durante todo o ano e pouco variáveis.

d) Sistema com Volume de Ar Variável com Reaquecimento

Estes sistemas, instalados junto das unidades terminais de variação de caudal permitem satisfazer as necessidades de aquecimento e de arrefecimento de um local e admitem uma maior variação da carga térmica relativamente à versão anterior. Com este sistema, para além da variação do caudal de insuflação também é possível variar a temperatura de insuflação.

O processo de reaquecimento é feito com água quente, vapor ou electricidade. É um processo sensível e é controlado pelo mesmo termóstato de ambiente que também controla a variação de caudal do ar de insuflação.

No Verão, quando a carga térmica é máxima, o caudal de ar de insuflação assume o valor máximo e a temperatura o valor mínimo. Quando a carga térmica diminui, o termóstato impõe a diminuição do ar insuflado e a temperatura de insuflação permaneça constante até que o caudal atinge o valor mínimo. A partir desta situação se as necessidades de arrefecimento do local continuarem a baixar, o caudal de ar mantém-se no mínimo, a bateria de reaquecimento entra em funcionamento e eleva progressivamente a temperatura de insuflação.

No Inverno, quando um local tem necessidades de aquecimento, o caudal deve manter-se no mínimo e o funcionamento da bateria de reaquecimento é controlado pelo termóstato do ambiente do local em questão.

Desvantagens do sistema:

- Para que seja garantido o seu bom funcionamento, o caudal mínimo regulado nestas unidades VAV não deve ser inferior a 40% do seu caudal máximo.

ii) Sistemas com percurso duplo (Multizona)

Neste sistema o aquecimento e o arrefecimento do ar processam-se em simultâneo, nas baterias de aquecimento ou arrefecimento, respectivamente, montadas em paralelo. Ou seja, estes sistemas são constituídos por duas condutas de distribuição de ar, transportando uma ar quente e outra ar frio, desde

a unidade de tratamento de ar até às caixas de mistura situadas junto de cada local. Na unidade de tratamento do ar, as baterias de aquecimento e arrefecimento estão também dispostas em paralelo.

Ao contrário dos sistemas de percurso simples em que o ar tratado era distribuído a várias zonas desde que as mesmas não apresentassem grandes diferenças térmicas, nos sistemas de percurso duplo, permite-se a distribuição de ar a locais com diferentes condições ambientais.

Os sistemas com percurso duplo mais usuais são:

- Sistema com Volume de Ar Constante;
- Sistema com Volume de Ar Constante e com Reaquecimento;
- Sistema com Volume de Ar Variável – Sistema Multizona.

a) Sistema com Volume de Ar Constante

O sistema é dito de volume de ar constante porque o caudal de insuflação em cada local é sempre constante embora as percentagens de ar quente e ar frio variem.

Para definir o caudal a insuflar em cada divisão deve-se primeiro calcular o caudal de insuflação nas condições extremas de arrefecimento e de aquecimento. Deste modo, conhecendo as temperaturas do ar nas condutas de ar quente e ar frio, a temperatura interior de cada zona e as componentes sensíveis da carga térmica de aquecimento e de arrefecimento nas condições extremas de projecto é possível calcular os caudais de ar, que deveriam ser utilizados perante estas duas situações. Como os valores dos caudais não são necessariamente iguais e o sistema é do tipo volume constante deve-se adoptar o maior dos valores calculados para o caudal de insuflação.

Vantagens do sistema:

- Permite satisfazer simultaneamente as necessidades de arrefecimento e de aquecimento das diferentes zonas de um edifício com o controlo individual da temperatura;

Desvantagens do sistema:

- Exige um espaço considerável para as condutas;
- É um sistema relativamente caro;
- Não é um sistema eficiente do ponto de vista da utilização racional de energia e apresenta alguns problemas de controlo da humidade.

b) Sistema com Volume de Ar Constante e com Reaquecimento

Este sistema funciona de forma idêntica ao anterior. Em ambos o escoamento de ar insuflado em cada zona resulta da mistura de escoamentos de ar quente e ar frio produzidos na unidade de tratamento de ar. A principal diferença está na localização onde é feita essa mistura. Enquanto que no sistema anterior as caixas de mistura se encontram localizadas junto de cada divisão, neste sistema a zona de mistura está localizada na unidade de tratamento do ar.

Vantagens do sistema:

- O custo não é tão elevado em relação ao sistema anterior desde que o número de zonas não seja elevado e o percurso das condutas não seja demasiado longo;
- Poderá, em alguns casos, exigir um menor espaço para a passagem das condutas uma vez que a unidade que da unidade de tratamento do ar apenas parte uma conduta para cada zona.

Desvantagens do sistema:

- Está limitado a um número de zonas reduzido e de dimensão também reduzida;
- Exige um espaço considerável perto da unidade de tratamento de ar onde é feita a mistura para as diferentes zonas.
- Poderá surgir problemas de controlo da humidade.

c) *Sistema com Volume de Ar Variável – Sistema Multizona*

Este sistema é idêntico ao anterior com a diferença de o caudal de ar misturado nas caixas de mistura de cada zona poder ser variável em função das necessidades de arrefecimento ou de aquecimento, embora a temperatura de insuflação se mantenha constante.

Estes sistemas são utilizados principalmente nos locais onde há flutuações importantes das cargas térmicas internas. No caso da temperatura aumentar devido à iluminação ou à própria actividade humana, o caudal a insuflar no local também aumenta, caso contrário é reduzido ao mínimo. Para o efeito, cada local dispõe de um termóstato de ambiente que ordena a abertura ou fecho de um regulador do caudal de ar, em função da temperatura ambiente, até ao limite mínimo necessário. A regulação do caudal de ar faz-se ao nível do ventilador por meio de um detector de pressão localizado na rede de condutas.

Vantagens do sistema:

- a principal vantagem deste sistema provém da diminuição proporcional do consumo de energia térmica, frigorífica e eléctrica do ventilador, quando o caudal de ar baixa.

Desvantagens do sistema:

- Não é recomendável o seu funcionamento com ar reciclado. Isto é, uma vez que este tipo de sistema pode ser utilizado em qualquer divisão independentemente da sua localização a Sul ou a Norte, com efeito, ao admitir-se ar reciclado, nas cargas mais elevadas a Sul, a percentagem de ar novo é significativamente reduzida ou mesmo inferior ao mínimo indispensável a Norte.

3.4.3.2. SISTEMAS TUDO ÁGUA

Estes sistemas consistem numa técnica de climatização em que se distribui pelos equipamentos terminais existentes em cada ambiente unicamente água fria ou água quente em função das necessidades de arrefecimento ou de aquecimento. A produção da água quente é assegurada pela caldeira ou bomba de calor (unidades produtoras de água quente) enquanto a água fria ou gelada é produzida no *chiller* (unidade produtora de água fria). Estes equipamentos estão normalmente localizados num espaço técnico.

Os ventilo-convectores são as unidades terminais, mais usuais, para anular o efeito das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento. Tratam-se de pequenas unidades de tratamento de ar instaladas nos próprios locais que condicionam. São constituídos por um ventilador e respectivo motor, filtro e uma ou duas baterias. Podem ser colocados no tecto, na posição horizontal – tipo tecto, ou montados na vertical apoiados no chão junto da parede e normalmente sob a janela – tipo bancada.

Estes equipamentos filtram o ar, aquecem-no ou arrefecem-no e distribuem-no pelo ambiente. Além disso, juntamente com o arrefecimento do ar podem processar a desumidificação. O aquecimento e o arrefecimento podem ser realizados numa só bateria ou em duas baterias separadas utilizando água. Contudo, o aquecimento pode ainda ser assegurado por uma bateria de resistências eléctricas.

A circulação da água, quer fria ou quente, é feita em circuito fechado em que o retomo é directo ou invertido. Os sistemas de retorno invertido os circuitos hidráulicos de cada unidade terminal ficam mais próximos de uma situação de equilíbrio entre si ao contrário dos sistemas de retorno directo.

Este tipo de sistema de distribuição de água quente ou fria é também classificado como circuitos de dois, três ou quatro tubos relativamente ao tipo da configuração da alimentação e do retorno da água quente e fria nos ventilo-convectores.

No entanto, existem outros sistemas que conseguem assegurar as mesmas funções em simultâneo, aquecimento e arrefecimento, ou apenas uma delas, tratam-se dos radiadores, convectores, tectos arrefecidos e pavimentos aquecidos e/ou arrefecidos.

Contudo uma questão pode ser levantada quanto à renovação do ar nos espaços uma vez que nos sistemas tudo água não existe um circuito de distribuição de ar pelos espaços. Ora, nestes sistemas a renovação do ar processa-se unicamente de forma natural através das janelas ou de entradas de ar junto das unidades terminais.

A principal vantagem dos sistemas tudo água consiste no reduzido espaço que o circuito de tubagem de distribuição de água aos diferentes locais ocupa.

i) Sistema de distribuição de água a dois tubos

Neste sistema os ventilo-convectores são alimentados nas estações de aquecimento e arrefecimento por água quente e fria, respectivamente. A distribuição e retomo da água quente ou fria são processadas consoante a necessidade de aquecimento ou arrefecimento, daí a designação do sistema a dois tubos.

Outra característica deste sistema consiste em que os ventilo-convectores funcionam com uma bateria comum onde passa a água quente ou a água fria. A temperatura da água é controlada através da variação do caudal que passa na bateria.

Contudo, este sistema de distribuição de água a dois tubos apenas pode ser usado nos locais que necessitem só de frio ou só de calor. Além disso, nas estações intermédias mostra-se inadequado por não suprimir em simultâneo as cargas térmicas de arrefecimento de alguns locais e as cargas térmicas de aquecimento de outros locais.

ii) Sistema de distribuição de água a três tubos

Neste tipo de instalação, a bateria de cada um dos ventilo-convectores pode ser alimentada por água quente e por água fria em qualquer instante. Deste modo as necessidades de aquecimento ou arrefecimento de um determinado local são satisfeitas independentemente das necessidades dos outros locais.

Neste sistema o circuito apresenta duas idas, água quente e água fria e um único retorno comum à água quente e água fria, daí a designação de sistema de distribuição de água a três tubos.

iii) Sistema de distribuição de água a quatro tubos

Este sistema também permite satisfazer as necessidades de aquecimento e arrefecimento em simultâneo em diferentes locais; trata-se de um melhoramento do sistema de distribuição de água a três tubos.

Os ventilo-convectores são alimentados por uma tubagem de água quente e outra de água fria e podem ter duas baterias. Desta forma evitam-se as perdas por mistura, existentes nos sistemas a dois ou três tubos.

A quantidade de água quente ou fria que deve passar no ventilo-convector é feita de acordo com o sinal detectado pelo termóstato ambiente, por válvulas modulante de duas ou três vias.

Este tipo de instalação apresenta um custo inicial mais elevado no entanto permite melhorar a eficiência energética do sistema e consequentemente reduzir os custos de exploração relativamente aos sistemas a três tubos.

3.4.3.3. SISTEMAS ÁGUA-AR (SISTEMAS MISTOS)

Com estes sistemas a climatização dos ambientes é feita utilizando em simultâneo a distribuição de água e de ar. O ar que se introduz mecanicamente nos locais é designado por ar primário e é constituído normalmente apenas por ar novo que foi tratado na unidade de tratamento do ar. Este ar primário irá assegurar as necessidades mínimas de ventilação e o controlo da humidade relativa dos diferentes locais.

Estes sistemas são ditos de água-ar porque além de ser insuflado ar primário é também utilizada água nas unidades terminais instaladas em cada um dos locais. O caudal de água quente ou fria que circula nas baterias destas unidades terminais pode ser regulado por válvulas termostáticas em função do sinal detectado por cada termóstato de ambiente. As unidades terminais mais usuais são os ventilo-convectores, painéis radiantes ou unidades de indução. O circuito de distribuição da água quente e fria pode ser efectuado a dois, três ou quatro tubos.

O ar primário que alimenta cada um dos locais pode entrar directamente no ambiente, através de grelhas ou difusores, ou então ser canalizado directamente para as unidades terminais onde se mistura com o ar recirculado para depois ser então introduzido no ambiente.

3.4.3.4. SISTEMAS DE EXPANSÃO DIRECTA DE UM FLUÍDO REFRIGERANTE

O aquecimento e o arrefecimento do ar pode também ser obtido através do contacto com a superfície de baterias alimentadas directamente por um fluido refrigerante.

Estes sistemas são designados por sistemas de expansão directa de um fluido refrigerante em que os elementos principais que compõem o ciclo frigorífico são o evaporador, o compressor e o dispositivo de expansão.

O processos de arrefecimento e aquecimento funcionam alternadamente. No entanto, para que isso ocorra o sistema terá de possuir uma válvula de inversão do circuito do fluido refrigerante. Caso contrário, o sistema só consegue operar em arrefecimento ou em aquecimento.

Estes aparelhos que utilizam a transformação de fluidos refrigerantes podem ser do tipo monobloco ou separados:

- Aparelho monobloco: unidades de janela;
- Aparelhos separados: *split* e *multi-split*;
- Volume de Refrigerante Variável (VRV).

As unidades de janela (figura 3.4), são equipamentos mais simples, muito utilizados e também são os mais baratos. São ideais para a climatização de ar de locais pequenos e além disso não ocupam espaço interno (útil). Estes aparelhos integram uma máquina de compressão de um fluido refrigerante e constituem o sistema de arrefecimento e/ou aquecimento do ar. No entanto, apresentam pequena capacidade, um maior nível sonoro e custo energético e são esteticamente desagradáveis.



Figura 3.4 - Unidade de janela (vistas exterior e interior) [20]

Estas unidades são fabricadas em tamanhos suficientemente pequenos para que encaixem numa janela padrão. Apesar do seu reduzido tamanho, compreendem (figura 3.5):

- um compressor;
- uma válvula de expansão;
- um condensador (do lado de fora);
- um evaporador (do lado de dentro);
- dois ventiladores;
- e uma unidade de controlo.

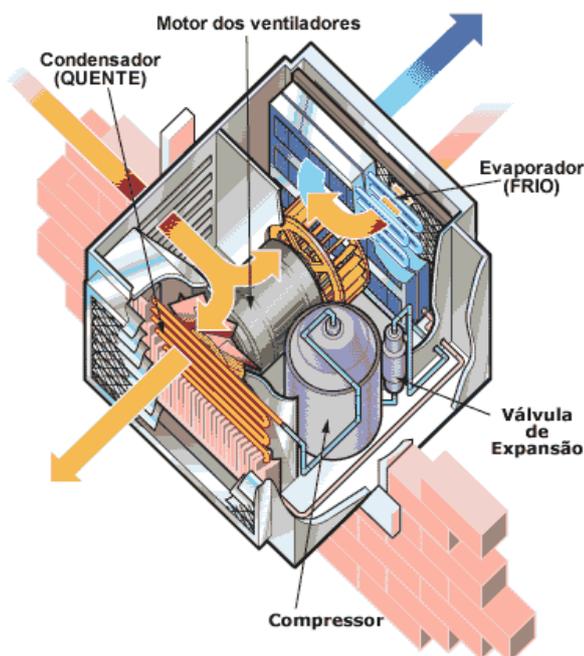


Figura 3.5 - O interior de uma unidade de janela [20]

Tem-se notado um acentuado crescimento na utilização dos equipamentos separados.

No caso de um espaço ou de uma residência com poucas divisões ou divisões pequenas a melhor solução será a utilização dos equipamentos *Split*; se o espaço ou a casa tiver uma grande área e se desejar que a temperatura seja controlada em toda a residência por um aparelho central, então a solução mais adequada será recorrer a um aparelho *Multi Split*.

Split é um sistema constituído por dois equipamentos, um interior (a unidade evaporadora), a colocar na divisão que se pretende climatizar, e outro exterior (a unidade condensadora), a colocar na parte de fora da parede, interligados através de tubulações em cobre. Dependendo da capacidade do sistema, é definida a distância e desnível máximos entre estas unidades, tal como se pode observar com a interpretação da figura 3.6 e quadro 3.1. Na unidade interna há necessidade de um ponto de dreno para o escoamento da água formada pela condensação da unidade contida no ambiente interno.

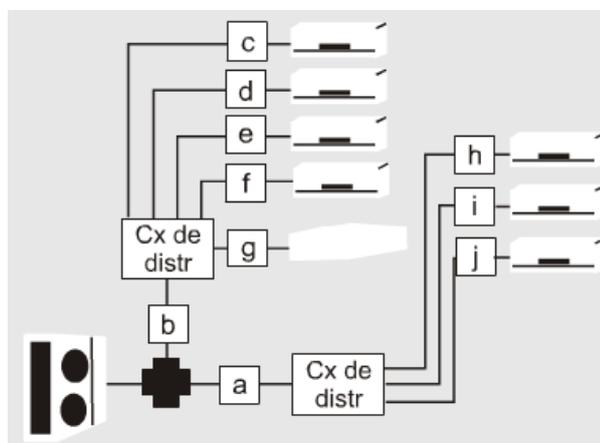


Figura 3.6 – Exemplo de apresentação da distância e desnível máximos entre as unidades interior e exterior de um *Split* [21]

Quadro 3.1 – Relação entre a distância e o desnível máximo das unidades interior e exterior de um *Split* [21]

Definição da Distância	Distância	Desnível Máximo (m)
Tubulação total	(a+b+c+d+e+f+g+h+i+j)	115
Exterior → Cx de distr.	(a+b)	55
Cx de distr. → Interior	(c+d+e+f+g+h+i+j)	60
	(Cada c,d,e,f,g,h,i,j)	15
Exterior → Interior	(mais afastada)	70
Diferença altura	Exterior – Interior	30*
	Exterior – Cx de distr.	30
	Cx de distr. - Interior	15
	Interior - Interior	12

*No caso de instalar a unidade exterior num ponto mais elevado do que a unidade interior: 20m

O *split* é um sistema que proporciona maior conforto uma vez que a maior parte do ruído ocorre na unidade externa (condensadora), a qual pode ser instalada a uma distância de até 30 m do ambiente climatizado. Além disso possui controlo remoto sem fio o que permite a operação à distância, garantindo uma maior comodidade ao usuário. Na figura 3.7 define-se cada um dos componentes.

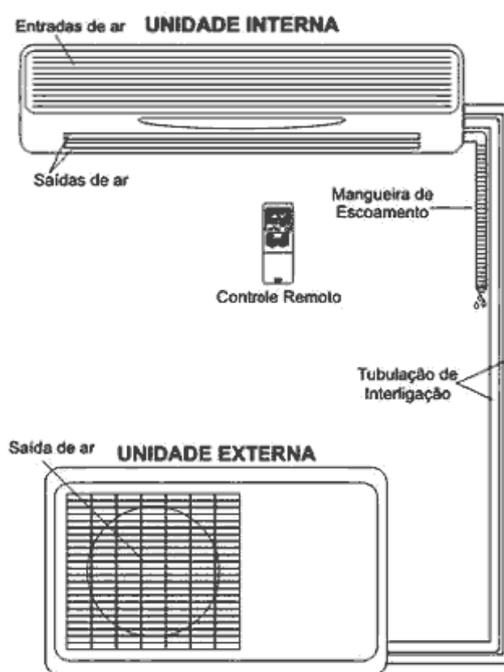


Figura 3.7 - Esquema e sistema *Split* [22]

A unidade interna do aparelho *Split* pode ser colocada no tecto ou na parede, consoante as necessidades e ocupação do espaço a climatizar. Distinguem-se os aparelhos:

- a) *Split* cassette: o aparelho é embutido no tecto, no centro do ambiente. Trata-se de um sistema ideal para escritórios, consultórios, salas residenciais, etc. É discreto e harmonioso em qualquer ambiente, já que apenas a sua grelha fica visível no ambiente; além disso é bastante versátil, pois possui quatro saídas de insuflamento, tomada de ar externo e também a possibilidade de descarga de ar para uma sala adjacente (figura 3.8).



Figura 3.8 - *Split* cassette [23]

- b) *Split* parede: é o aparelho mais comum e mais utilizado nas habitações privadas pela sua fácil instalação (figuras 3.9).
- c)

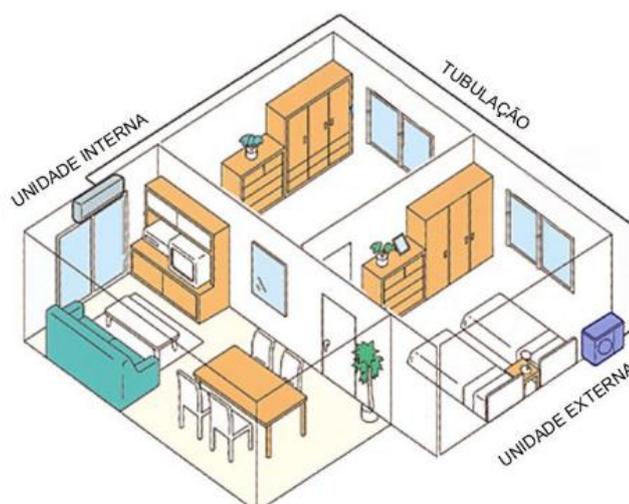


Figura 3.9 - Exemplo de aplicação [24]

Este aparelho é instalado na parede com aproximadamente 10 cm de distância ao tecto. A sua localização deve situar-se por cima das portas de entrada da habitação, tal como recomendado pelos fabricantes, de modo a garantir o máximo conforto no interior da habitação e limitar as perdas de energia para o espaço exterior.

Possui um design plano e pequena espessura, o que lhe permite ser aplicado nos espaços interiores das habitações sem grande impacto visual (figura 3.10).



Figura 3.10 - Unidades interna e externa e comando para controlo remoto do sistema *Split* parede [25]

Na figura 3.11, esquematiza-se o funcionamento deste tipo de aparelho.

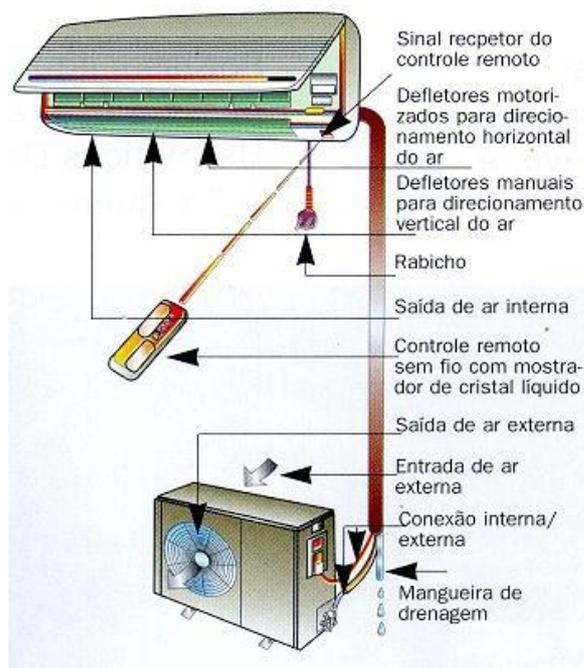


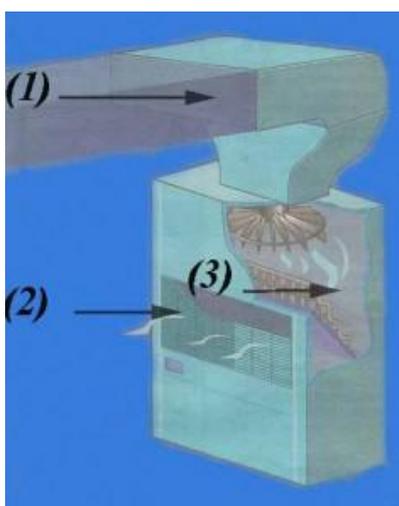
Figura 3.11 – Esquema de funcionamento de um aparelho *Split* parede [26]

- d) *Split dutado*: é um sistema normalmente indicado para ambientes com uma carga térmica elevada, como escritórios, consultórios e salas comerciais em geral. Além de atender vários ambientes ao mesmo tempo, com baixo custo, é discreto, fica embutido no tecto e facilita a distribuição do ar climatizado. Contudo, a instalação deste tipo de aparelhos exige um espaço razoável entre o tecto e o forro, o nível de ruído é superior aos outros modelos *Split* e além disso, estes aparelhos exigem operações de manutenção e limpeza mais frequentes (figura 3.12).



Figura 3.12 – Exemplo de um *Split* dutado [27]

Na figura 3.13 pode observar-se o funcionamento destes aparelhos. O aparelho capta, filtra e expõe o ar climatizado novamente para o ambiente. Neste processo o ar é desumidificado.



- 1 - Saída de ar do duto de ventilação;
- 2 - Local por onde o ar entra e passa pelo filtro antes de ser climatizado;
- 3 - Serpentinas de desumidificação.

Figura 3.13 – Funcionamento de um *Split* dutado [27]

e) *Split tecto*: este aparelho possui saída de ar pelos seus quatro lados possibilitando a sua instalação em qualquer lugar do tecto (figura 3.14).



Figura 3.14 - Exemplo de um *Split* tecto [28]

Multi Split é um sistema de climatização bastante mais dispendioso que o sistema *Split*. No entanto, é o sistema adequado para controlar a temperatura em todas as divisões a partir de uma unidade central (figuras 3.15 e 3.16).

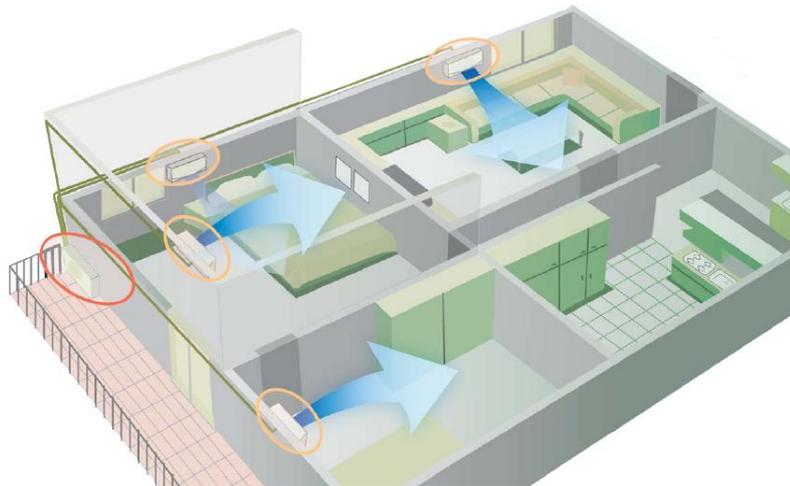


Figura 3.15 – Sistema de climatização *Multi-Split* [28]



Figura 3.16 - *Multi-Split* [29]

Volume de refrigerante variável (VRV): É um modelo desenvolvido especialmente para residências amplas e edifícios comerciais de médio e grande porte. Possui um sistema *Multi-Split* com apenas uma unidade externa ligada a múltiplas unidades internas operando individualmente por ambiente (podendo chegar a 64 máquinas) (figura 3.17).



Figura 3.17 – Exemplo de um modelo VRV [29]

O agente refrigerante, é o responsável pela captura térmica e intercâmbio do ar ambiente com o meio externo. O sistema de refrigeração chamado ciclo de refrigeração é composto por diversos componentes, os quais proporcionam uma condição de funcionamento que permite o retorno desse fluido refrigerante para a condição inicial no ciclo.

O grande diferencial nesse sistema VRV é simplesmente uma combinação de tecnologia electrónica com sistemas de controle microprocessados, aliado à combinação de múltiplas unidades internas num ciclo de refrigeração.

A sua instalação é muito simples, resultando numa economia de tempo e mão-de-obra, além de manter a arquitectura sem alterar as características do empreendimento, produzindo um baixo nível de ruído e baixo consumo eléctrico.

Além de ser versátil e flexível, possui expansão modular e de grande facilidade de adaptação em estruturas já existentes.

Pode-se dizer que esse sistema, é actualmente o mais moderno e versátil do mercado. A sua aplicabilidade atende a especificações de um sistema de água gelada (*Water Chiller*), tanto na capacidade de condicionar amplos ambientes quanto na possibilidade de dimensionamento levando-se em consideração a simultaneidade de carga térmica ao longo do dia. Atende também às necessidades de adaptação e versatilidade do sistema tipo *Split*, que já domina o mercado da climatização há alguns anos.

Em resumo apresenta-se em esquema (figuras 3.18 e 3.19), os múltiplos sistemas existentes das instalações de AVAC.

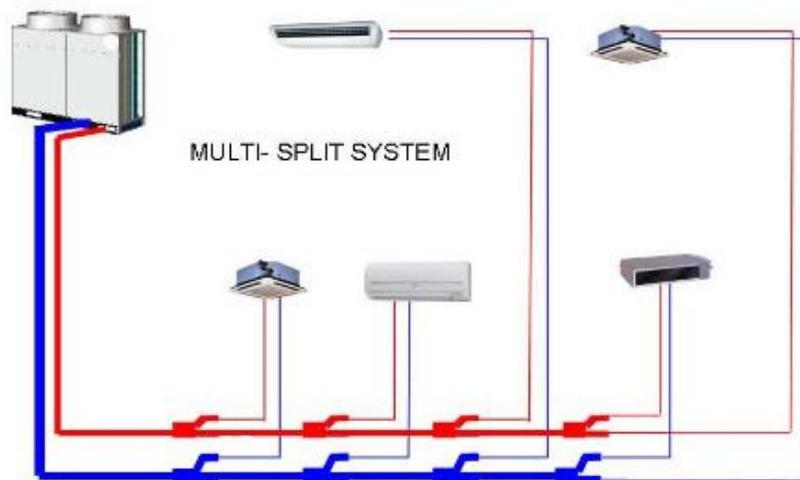


Figura 3.18 - Volume de refrigerante variável (VRV) [29]



Figura 3.19 - Aplicação VRV num edifício [30]

A maioria dos edifícios de escritórios tem uma unidade condensadora nos telhados. Os centros comerciais e aeroportos podem ter 10 a 20 unidades condensadoras escondidas no telhado. Nestes casos, o uso do sistema de climatização do tipo *Split* acarreta alguns problemas. A instalação da tubulação entre o condensador e o evaporador excede a limitação da distância (em instalações longas existe o problema de lubrificação do compressor) ou a quantidade de condutas e a sua extensão se tornam difíceis de serem administradas. Neste ponto, é necessário considerar um sistema de refrigeração do tipo *chiller* (refrigerador de água gelada).

Em sistemas *chiller*, o sistema é todo instalado no telhado ou atrás do edifício. A água fria resfriada é então canalizada através de todo o edifício para os sistemas de distribuição de ar. Não existe limite para a tubulação de refrigeração do tipo *chiller* se ela for bem isolada (figura 3.20).



Figura 3.20 – Exemplo de *chillers* [31]

Se se olhar para as traseiras dos hospitais, universidades e complexos de escritórios, encontram-se grandes torres de resfriamento conectadas a sistemas de climatização. Mesmo que cada uma dessas máquinas tenha uma aparência distinta, funcionam sob os mesmos princípios. Ora, em todos os sistemas descritos anteriormente, o ar é usado para dissipar o calor na serpentina externa (condensador). No caso de grandes edifícios, este efeito pode ser melhorado com a instalação de torres de resfriamento. Estas torres criam uma corrente de água com temperatura mais baixa que irá atravessar o sistema de troca de calor arrefecendo a serpentina quente (condensador) (figura 3.21).



Figura 3.21 - Exemplos de torres de resfriamento [20]

3.4.4 DOMÍNIOS DE UTILIZAÇÃO

Tal como referido anteriormente, as instalações de climatização aplicam-se sobretudo aos edifícios ou locais ocupados por pessoas, locais públicos, como escritórios, hospitais, teatros, cinemas, centros comerciais, escolas, indústrias, etc.

Nestes espaços, exigem-se temperaturas de conforto e humidades relativas dentro dos parâmetros que permitam que as pessoas se sintam mais criativas e produtivas e claro fisiologicamente melhor. Contudo, a noção de conforto termo-higrométrico não é de fácil definição, pelo que, consideram-se satisfatórias quando um indivíduo não experimenta qualquer desagrado ou irritação de modo a distraí-lo das suas actividades de momento, como por exemplo a presença de ruído.

Está provado cientificamente que o ruído é das formas de poluição mais evidentes quer no meio industrial quer no ambiente em geral e que pode afectar o Homem nos planos físico, psicológico e social.

Por esta razão, e uma vez que os equipamentos AVAC estão actualmente presentes em todos os espaços públicos, torna-se necessário analisar a implicação do seu ruído nos ocupantes desses espaços.

4

CASOS DE ESTUDO

4.1. GENERALIDADES

Como já foi referido, o objectivo deste trabalho consiste na análise e caracterização do ruído dos equipamentos AVAC em espaços públicos, nomeadamente escolas, hospitais e bibliotecas. Estes três tipos de espaços foram considerados importantes para este estudo uma vez que são aqueles onde a permanência de pessoas é significativa durante grande parte do dia (escolas e bibliotecas) ou mesmo permanente durante alguns dias (hospitais). Exige-se portanto que, nestes espaços, a qualidade do ambiente seja a mais confortável possível.

Vários têm sido os estudos de investigação no sentido de avaliar a satisfação dos ocupantes relativamente ao conforto desses espaços. Desses estudos se conclui que uma das principais queixas quer dos funcionários quer das restantes pessoas que permanecem um tempo considerável nesses espaços públicos, se refere à incomodidade provocada pelo ruído de equipamentos de climatização.

A título de exemplo, Maganinho [32] desenvolveu um inquérito dirigido aos funcionários de diversas bibliotecas portuguesas, no qual uma das questões colocada diz respeito à fonte de ruído mais incomodativa. O quadro 4.1 apresenta resumidamente o resultado das respostas.

Quadro 4.1 – Percentagem de incomodidade em cada categoria de ruído [32]

Categoria de Ruído	Percentagem (%)
Átrio/entrada	25
Conversa dentro da própria sala	25
Proveniente de salas e locais contíguos	20
Percussão	15
Exterior	10
Equipamentos	5

Analisando as respostas dos funcionários se comprova mais uma vez que, o ruído provocado pelo funcionamento dos equipamentos, incluindo os equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado, provoca incomodidade nos seus utilizadores.

É neste contexto que se revela ser necessário estabelecer uma correspondência entre a regulamentação aplicável e os resultados obtidos por várias investigações já efectuadas relativamente à problemática do ruído de equipamentos AVAC no interior dos espaços públicos.

No entanto, o ruído no interior dos edifícios, não depende apenas do ruído provocado no interior dos mesmos. Depende também do ruído exterior, do tipo de construção do edifício e das características acústicas do espaço em estudo. Na medição do ruído no interior de qualquer espaço há que levar em consideração quer os ruídos provocados no interior do mesmo, que podem ser controlados, quer os ruídos exteriores que não se podem anular.

4.2. ESCOLAS

Nas escolas (salas de aula), os estudos efectuados revelam que a exposição das crianças ao ruído, durante a aprendizagem é um factor de risco para o seu desenvolvimento mental e para a aprendizagem normal da linguagem e da escrita. A qualidade do ambiente acústico é um importante elemento que influencia a aprendizagem verbal que por sua vez influencia a aprendizagem humana.

Nas salas de aula a inteligibilidade da palavra é um factor crítico pois a comunicação através da palavra é fundamental. A inteligibilidade da palavra é definida como a capacidade de compreender e interpretar com clareza os sons utilizados na linguagem e pode ser influenciada, segundo *Nábělek e Nábělek* [33], por três factores: o nível da palavra, a reverberação da sala e o ruído de fundo.

Na figura 4.1 esquematiza-se uma série de potenciais fontes de ruído numa sala de aula.

Equipamentos de AVAC

Ruído do exterior
(tráfego rodoviário, aéreo e
ferroviário, recreio)



Difusores

Ruído das condutas de
AVAC

Ruído de outros espaços
(salas adjacentes,
corredores)

Computadores
Projectores

Figura 4.1 - Fontes de ruído de fundo numa sala de aula [34]

Para diminuir a contribuição dos equipamentos de AVAC na produção de ruído de fundo deve exigir-se um projecto adequado ao equilíbrio de um grande número de factores, incluindo as necessidades de

aquecimento e refrigeração, a eficiência energética, o controlo da humidade, a ventilação natural aconselhada para complementar a ventilação mecânica, a adesão aos códigos e normas referentes à qualidade do ar interior e o custo dos aparelhos, em função das características do espaço onde irá funcionar.

Muitos são os estudos desenvolvidos relativamente à qualidade acústica das salas de aulas revelando a grande maioria níveis de ruído excessivos dentro das salas de aula.

Oiticica *et al.* [35] desenvolveu um estudo acerca da interferência dos equipamentos de ventilação na qualidade acústica das salas de aula de 58 escolas públicas, numa cidade do litoral do Brasil – Maceió-AL-Brasil, onde a utilização deste tipo de equipamentos é fundamental para obtenção do conforto térmico.

De cada uma das 58 escolas foi escolhida uma sala de aula tipo. Em todas elas, o estudo consistiu na medição do nível sonoro contínuo equivalente com e sem os aparelhos ligados.

Nas figuras 4.2 e 4.3 resumem-se os resultados desse estudo.

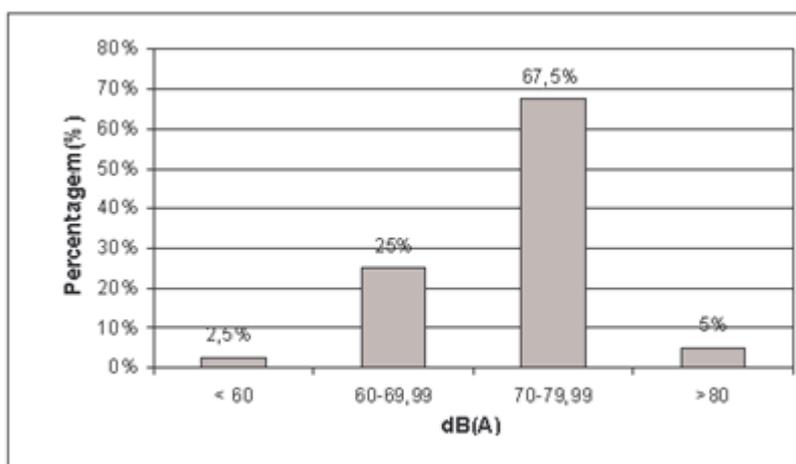


Figura 4.2 – L_{Aeq} com ventiladores ligados [35]

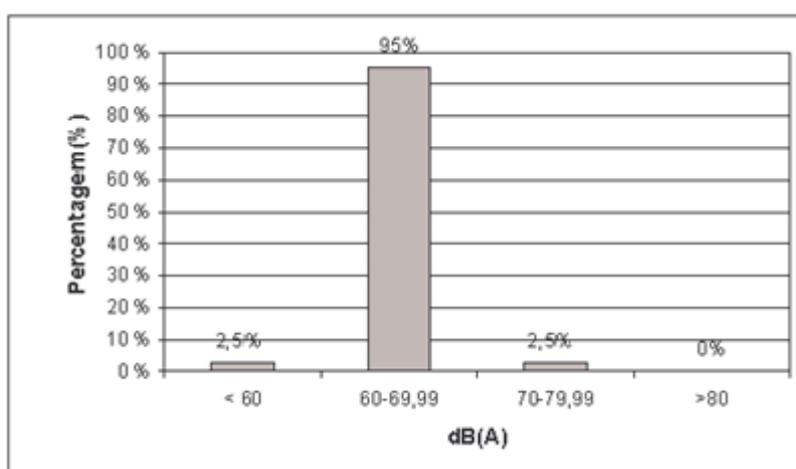


Figura 4.3 - L_{Aeq} com ventiladores desligados [35]

Na Norma brasileira que referencia o conforto acústico no ambiente ocupado – NBR 10152 [36], segundo a qual se baseou esse estudo, o limite máximo ideal estabelecido como aceitável para se garantir o nível de conforto acústico para as salas de aula, deve estar compreendido entre 40 e 50 dB(A). Segundo o RRAE, o $L_{Ar,nT}$ não deve ser superior a 30 dB(A), pelo que, comparando as duas normas, se conclui que a legislação portuguesa é mais exigente em termos de conforto acústico.

A figura 4.2 mostra que o nível de ruído de fundo das salas de aula que possuem os ventiladores ligados é muito superior ao estabelecido pelo norma brasileira, das quais 72,5% possuem um nível de ruído acima de 70 dB(A).

Comparando estes resultados com o estabelecido na legislação portuguesa, RRAE, constata-se que os resultados são inadequados e insalubres para as salas de aula.

Comparando os resultados das figuras 4.2 e 4.3 é possível verificar a redução do nível sonoro contínuo equivalente de ruído de fundo no interior das salas de aula nas medições realizadas com os aparelhos desligados. Na faixa acima dos 70 dB(A) houve uma queda considerável dos níveis de ruído de fundo, ainda assim, não se garante o nível de conforto acústico.

Conclui-se portanto que as salas de aula analisadas não apresentam condições de conforto acústico favoráveis quer estejam os aparelhos ligados ou não. Contudo, verifica-se uma redução substancial do nível de ruído de fundo quando se desligam os ventiladores, constatando-se que o seu funcionamento tem de facto uma interferência muito significativa no aumento do ruído no interior das salas de aula.

4.3. BIBLIOTECAS

Nas bibliotecas pretende-se obter o máximo de silêncio para proporcionar a concentração. Nestes espaços não é a inteligibilidade da palavra que interessa obter, mas antes o oposto, a privacidade da palavra. A privacidade da palavra é a capacidade de impedir que as conversas sejam compreendidas por outrem que não o destinatário dessas palavras. Nas bibliotecas a privacidade assume um significado diferente uma vez que, ao contrário do que é habitual, a não percepção das palavras é o objectivo pretendido por quem não é o destinatário das palavras, desejando assim o silêncio. No âmbito geral, os elementos que afectam a privacidade da palavra podem ser definidos em função do tipo de espaço: *open space* – quando as diversas actividades são desenvolvidas num único espaço (figura 4.4) ou *enclosed room* – divisão dos diversos serviços.



Figura 4.4 - Biblioteca Angélica, Roma, Itália [37]

Portanto, para atingir este objectivo, o silêncio, há que permitir a privacidade da palavra e anular todas as potenciais fontes de ruído, tendo elas origem no interior ou exterior das bibliotecas.

A utilização de equipamentos AVAC nas bibliotecas é fundamental para controlar a temperatura, humidade e ventilação, nos limites ideais para preservar os livros, a maioria das vezes valiosos e antigos que aí se encontram e proporcionar um ambiente agradável aos seus utilizadores. Contudo, os equipamentos AVAC são potenciais fontes de ruído pelo que se apresentam valores máximos de ruído para impedir qualquer incomodidade devida a este efeito.

Dos vários estudos desenvolvidos no âmbito da qualidade acústica no interior das bibliotecas conclui-se da dificuldade em garantir níveis de ruído dentro de limites aceitáveis.

Um dos estudos a este respeito foi discutido no 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental [38]. Foram seleccionadas oito bibliotecas da cidade de Natal – Rio de Janeiro que representassem a generalidade dos ambientes das bibliotecas brasileiras, a saber: Biblioteca Sebastião Fernandes da ETFRN, Biblioteca Câmara Cascudo do Estado do Rio de Janeiro, Biblioteca Zila Mamede-Central da UFRN, Biblioteca Sectorial do Departamento de Odontologia da UFRN, Biblioteca Memorial Câmara Cascudo, Biblioteca da Universidade Potiguar, Biblioteca da Casa do Estudante e a Biblioteca do Instituto Histórico e Geográfico do Estado.

No quadro 4.2 resumem-se os valores do nível sonoro contínuo equivalente obtido no interior de cada uma das bibliotecas.

Quadro 4.2 – L_{Aeq} nas bibliotecas brasileiras estudadas em 2000 [38]

Biblioteca	Nível de Ruído (dB(A))		
	Mínimo	Máximo	Média
Odontologia - UFRN	69	75	72
Zila Mamede - UFRN	57	73	65
Câmara Cascudo – Gov. do RN	68	78	73
Sebastião Fernandes - ETFRN	70	78	74
Instituto Histórico e Geográfico – Gov. do RN	59	69	64
Casa do Estudante -Gov. do RN	56	68	62
Memorial Câmara Cascudo - Gov. do RN	66	74	70
Universidade Potiguar	69	88	72

Analisando os valores do quadro 4.2 e comparando-os com o nível de ruído máximo aceitável para o interior das bibliotecas (42 dB(A)), indicado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (NB-95) conclui-se que não há o mínimo de preocupação, por parte dos responsáveis pela manutenção e bom funcionamento das bibliotecas, em garantir um conforto interno aceitável.

Nas bibliotecas o ruído de fundo chega a provocar uma redução até 60% da produtividade, por dificultar a concentração e o raciocínio.

Em Portugal, a problemática do ruído no interior das bibliotecas tem sofrido um grande avanço no sentido de melhorar e garantir um ambiente agradável e adequado às actividades que aí se praticam.

Também em Portugal se têm realizado estudos acerca do ruído provocado pelo funcionamento de equipamentos essenciais à garantia das boas condições ambientais. Maganinho [32] elaborou um questionário acerca das fontes de maior perturbação do silêncio destinado aos utilizadores assíduos das bibliotecas, sobretudo os funcionários. Das respostas resultou uma série de conclusões acerca do ruído no interior das bibliotecas, incluindo as fontes de ruído que maior incomodidade provocam nos utentes, quadro 4.1.

No quadro 4.3 apresentam-se os resultados da avaliação do ruído particular dos equipamentos, das bibliotecas que responderam ao questionário.

Quadro 4.3 – Avaliação do ruído particular dos equipamentos em algumas bibliotecas portuguesas [32]

Biblioteca (Localidade)	L_{Ar} (dB) (funcionamento contínuo)	Classificação
FEUP (Porto)	44	>30 (mau)
Municipal de Castro Verde	56	>30 (mau)
Municipal de Figueiró dos Vinhos	43	>30 (mau)
Municipal de Matosinhos	39	>30 (mau)
Municipal de Sesimbra	39	>30 (mau)

Municipal de Santa Maria da Feira	48	>30 (mau)
Municipal de Vila Nova de Gaia	39	>30 (mau)
Municipal de Vila Real	45	>30 (mau)
Municipal de Viseu	41	>30 (mau)

No quadro 4.3 são comparados os resultados do inquérito com o valor máximo permitido pelo RRAE ($L_{Ar} \leq 30$ dB(A)) para equipamentos com funcionamento contínuo. Segundo o artigo 7º, do ponto 1, alínea f) (quadro IV do anexo do RRAE), o parâmetro L_{Ar} em bibliotecas apresenta um valor máximo de 35 dB(A) se o funcionamento do equipamento for intermitente e 30 dB(A) se for contínuo. Neste caso, uma vez que se desconhece o funcionamento dos equipamentos estudados, considera-se a situação mais gravosa que corresponde a considerar os equipamentos com funcionamento contínuo visto apresentar um grau de exigência mais elevado.

Conclui-se, portanto, que o ruído provocado pelo funcionamento dos equipamentos é superior ao permitido, podendo-se considerar que os equipamentos não foram adequadamente dimensionados. Ou seja, também para as bibliotecas se prova que o funcionamento dos equipamentos tem um peso considerável no ruído ambiente.

4.4. HOSPITAIS

Os hospitais são locais onde o ruído é permanente. As salas de espera, as urgências, os corredores, as enfermarias, a maternidade, a pediatria são locais onde o ruído nunca se anula. Ao ruído próprio do ambiente é associado outro tipo de ruídos: os provenientes de máquinas de tratamentos, alarmes, e outros equipamentos mecânicos onde se inserem os equipamentos de AVAC, além do ruído exterior. Com o desenvolvimento das cidades, vários hospitais ficaram expostos a fontes de ruído externo, como o tráfego de grandes avenidas ou aeroportos. No entanto, supõe-se que o ruído no hospital, provém mais de fontes internas, do que das externas [39].

Os equipamentos de AVAC assumem grande importância nos hospitais devido à sua relação sensível com a saúde dos pacientes, equipas médicas e auxiliares e visitantes. Estes equipamentos são essenciais para garantir os requisitos fundamentais impostos nas várias categorias de que é composto um hospital (unidades de cuidados intensivos, quartos de pacientes, laboratórios, salas de terapias, salas de armazenamento de equipamentos, salas de operações, etc.). Cada um destes espaços exige requisitos diferentes de temperatura e humidade, ventilação, nível de pureza do ar e a relação de pressão com espaços envolventes. Em diversas doenças o controle da temperatura e humidade é de fundamental importância, pois não só proporciona um ambiente agradável como auxilia o tratamento e a recuperação dos pacientes. Pode-se citar alguns casos:

- Pacientes com artrite reumatóide onde a temperatura deve ser mantida em 32 °C e a humidade relativa em 35%;
- Pessoas com queimaduras a temperatura deve manter-se próxima a 32 °C e a humidade relativa a 95%;
- Pacientes que sofreram neurocirurgias e estão a tomar medicação, devem ficar em ambientes com baixa temperatura e humidade.

Contudo, há que diminuir ao mínimo o ruído provocado por equipamentos mecânicos para que não sejam uma agravante ao ruído próprio desses locais, daí a imposição de valores máximos de ruído para

esses equipamentos quer pela legislação nacional quer pela legislação estrangeira e os inúmeros estudos acerca desta matéria.

Os estudos mais desenvolvidos a nível do ruído nos hospitais dizem respeito às unidades de cuidados intensivos, pois são locais particularmente afectados pelo ruído. Nelas são utilizados muitos equipamentos dotados de alarmes acústicos, essenciais para chamar a atenção de médicos e enfermeiros para alterações nas condições clínicas dos pacientes, além dos equipamentos de climatização, impressoras ou mesmo conversas. Portanto, um ambiente, que deveria ser silencioso e calmo, é pelo contrário ruidoso e stressante influenciando, inclusive a recuperação dos pacientes. [39]

Foi publicado no “Jornal de Pediatria” em 2005 [40] um artigo referente a um estudo desenvolvido por vários especialistas da área da pediatria acerca do nível de ruído numa unidade de cuidados intensivos pediátricos brasileira. No artigo são discutidos os resultados do estudo, que se apresentam no quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Fontes e níveis de ruído numa unidade de cuidados intensivos pediátricos [40]

Fonte de ruído	Nível Sonoro dB(A)
Ventilador mecânico	60 - 65
Alarme do ventilador mecânico	70 - 85
Alarme da bomba de infusão	65 - 75
Alarme da oximetria de pulso	60 - 75
Monitor cardíaco	50 - 55
Sistema de aspiração endotraqueal	50 - 60

Comparando os resultados do estudo com os 35 a 45 dB(A) máximos recomendados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conclui-se que se está perante um ambiente cujo nível de ruído é excessivo.

Tratando-se de uma ala pediátrica o problema toma proporções ainda mais graves. As crianças, e sobretudo os bebés, ainda não possuem o seu sistema imunitário completamente formado e resistente às agressões ambientais a que por vezes ficam sujeitos. Portanto, sabendo das consequências que a exposição ao ruído provoca, é grave saber que, na maioria das pediatrias, o ruído pode estar acima dos valores máximos que garantem a saúde humana.

Além disso, não só as crianças, mas também os profissionais de saúde ficam sujeitos a efeitos fisiológicos e/ou psicológicos pelo elevado tempo de exposição ao ruído, durante a sua actividade profissional.

Também na Europa vários estudos demonstram níveis de ruído elevados no interior das unidades de cuidados intensivos. Um hospital da Áustria [41] apresentou níveis de ruído que excederam 60 a 65 dB(A), e em Valência – Espanha, excederam 65 dB(A).

Em Portugal também se têm desenvolvido estudos nesta matéria. Pode-se referir o estudo desenvolvido por Carvalho [42] onde se destaca a análise do ruído em quatro salas de unidades de cuidados intensivos em neonatologia em três hospitais da área metropolitana do Porto:

- Centro Hospitalar de Gaia (Vila Nova de Gaia);
- Hospital Pedro Hispano (Matosinhos);
- Hospital de São João (Porto).

Do estudo surgem os resultados do quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Valores médios obtidos (L_{eq}) em dB e dB(A) em hospitais em 1988 [42]

Local	L_{eq} (dB)	L_{eq} (dB(A))
H. de Gaia – sala 1	77	71
H. de Gaia – sala 2	73	62
H. Pedro Hispano (Matosinhos)	68	53
H. São João (Porto)	69	73

Todas as salas avaliadas apresentam níveis sonoros longe dos valores ideais hoje definidos no RRAE ($L_{Aeq} < 30$ dB(A)).

Com estes resultados consolida-se a ideia de que a poluição sonora nas unidades de cuidados intensivos não é um problema limitado a um único país.

Conclui-se que é urgente definir regras não só a nível da construção dos edifícios mas também a nível de utilização de equipamentos. O ideal seria impor regras de emissão sonora máxima para os equipamentos hospitalares com a instalação de alarmes noutros compartimentos. É urgente difundir a consciencialização das consequências do ruído para a saúde mentalizando as pessoas de que o esforço para minimizar estes efeitos não está nas mãos de um mas de todos nós.

Os exemplos apresentados deveriam basear-se sobretudo e principalmente no ruído produzido pelos equipamentos AVAC nas unidades hospitalares. Contudo, é muito difícil numa unidade hospitalar desencadear este tipo de estudo, uma vez que, além do equipamento AVAC, existem inúmeros de outros equipamentos a funcionar ao mesmo tempo e que não podem ser desligados para que se possa apresentar valores concretos do ruído provocado pelo equipamento de AVAC. Por esta razão, os estudos mais frequentes baseiam-se no ruído dos equipamentos de uma forma geral.

5

EQUIPAMENTOS AVAC EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS

5.1. GENERALIDADES

O ruído provocado pelos equipamentos de AVAC é particularmente problemático pois normalmente é propagado para dentro do edifício. O crescimento do número de equipamentos é contínuo. Contudo as técnicas de construção de edifícios novos assentam, cada vez mais, na pré-fabricação no sentido de reduzir ao máximo o tempo de construção dos edifícios ao mesmo tempo que as técnicas de reabilitação de edifícios mais antigos ainda não foram pensadas para atender às novas tecnologias. Portanto, estes dois critérios – crescimento tecnológico associado à construção rápida têm-se tornado incompatíveis.

Os equipamentos mecânicos instalados nos edifícios são cada vez em maior número e conseqüentemente o ruído também é maior. Para reduzir este ruído seria necessário que a construção fosse pensada nesse sentido. Porém, os métodos de construção são baseados cada vez mais na simplicidade e no uso de materiais leves que por norma são maus isolantes sonoros. Por outro lado ainda não há a consciencialização necessária das boas práticas de instalação dos equipamentos de AVAC.

Neste sentido, podem ser tomadas algumas medidas para reduzir ao mínimo a incomodidade provocada pelo ruído dos equipamentos AVAC nos seus utilizadores. A principal medida deverá ser tomada pelo projectista responsável pela elaboração do projecto de AVAC consoante o tipo de edifício, as necessidades de aquecimento e refrigeração e as actividades aí praticadas. Se o equipamento for sub-dimensionado será necessário que trabalhe na sua potência máxima provocando ruído excessivo. Se o equipamento estiver longe de usufruir da sua potência máxima, a produção de ruído também poderá ser incomodativa. Além disso, o projectista, deve especificar a localização dos equipamentos e os cuidados e medidas a tomar pelos técnicos na instalação dos mesmos, nomeadamente:

- O sistema de condensação do ar condicionado deve estar o mais afastado possível das zonas sensíveis do edifício;

- O isolamento das vibrações deve ser escolhido em função do sistema e da velocidade de funcionamento do aparelho;
- Se o aparelho for colocado no exterior deve ser montado a pelo menos 1 m de qualquer parede do edifício, evitando-se também locais perto de janelas de quartos de habitações vizinhas;
- As grelhas de protecção devem ser limpas de modo a permitir um fluxo de ar adequado;
- Instalar forros nas condutas quer de abastecimento quer de retorno ou usar condutas pré-fabricadas com silenciadores incorporados. Se as mudanças de pressão na conduta provocarem uma vibração ruidosa deve ser instalada uma abraçadeira metálica. Quando uma conduta serve dois compartimentos separados, a transmissão do som de um compartimento poderá ser transmitido para o outro. Nestes casos deverá considerar-se a divisão metálica da conduta para reduzir a interferência e prolongar o caminho do som (figura 5.1).

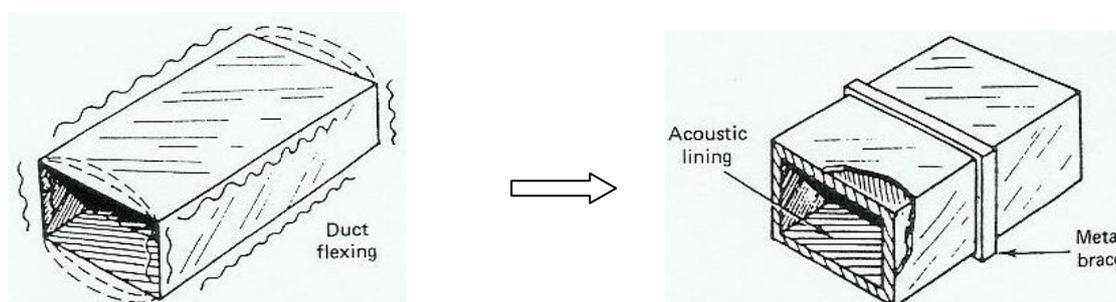


Figura 5.1 - Método para reduzir o ruído provocado pela vibração das condutas de AVAC pelo uso de abraçadeiras metálicas [43]

Os fabricantes de equipamentos de AVAC devem considerar o controlo do ruído do equipamento nas primeiras fases de concepção e os consumidores devem ter atenção aos níveis de ruído antes da compra dos aparelhos. Antes da compra de qualquer aparelho é necessário reparar no rótulo e comparar preços. É provável que um equipamento sem controlo do ruído seja mais barato que um com baixa emissão sonora.

Uma vez que os sistemas de AVAC são constituídos por inúmeros elementos, convém definir quais as principais fonte de ruído. Genericamente, podem encontrar-se os seguintes problemas de ruído originados pelas seguintes fontes sonoras:

- Unidades de tratamento de ar;
- Ventiladores;
- *Chillers*;
- Ventilador-Convectores;
- Vibração das condutas;
- etc.

O funcionamento destes equipamentos, acoplados a sistemas de condutas poderão criar os seguintes problemas:

- ultrapassagem de níveis sonoros máximos admissíveis nos locais receptores, definidos em função das actividades que aí se vão desempenhar;
- Transmissão de vibrações a partir da sala técnica, a outros locais do edifício;
- Incomodidade para o exterior causada pelo funcionamento da central técnica.

Estes problemas, podem ser devidos a vários factores, entre os quais se salientam:

- Propagação da energia sonora gerada pelos equipamentos de movimentação do ar pelo sistema de condutas;
- Geração de ruído aerodinâmico por velocidades de escoamento de ar excessivas para determinadas actividades, ou por obstruções no percurso de condutas;
- Geração de ruído pelos próprios elementos terminais (grelhas, difusores, etc.)

Corrigir um problema de ruído ou vibração após o início do funcionamento do sistema AVAC é muito mais dispendioso do que ter em conta esse problema na fase de projecto, no entanto se houver essa necessidade, as soluções tipicamente encontradas podem ser um complemento à envolvente definida pela arquitectura:

- Revestimento interior da sala com absorção sonora para redução do campo reverberante criado pelo funcionamento dos equipamentos;
- Reforço do isolamento sonoro da envolvente, através de duplicação de paredes/tectos com sistemas isolantes com vários desempenhos acústicos;
- Isolamento de vibrações de equipamento, na sua base e conexões a condutas/cablagens/tubagens;
- Instalação de portas acústicas para acessos ao interior sem redução do desempenho acústico do conjunto;
- Instalação de atenuadores sonoros para entrada e saída de ar para ventilação/refrigeração e também ar novo para as máquinas alojadas na sala técnica;
- Instalação de silenciadores para gases de escape de motores de combustão de geradores de emergência (quando existentes);
- Instalação de silenciadores de descarga de vapor de válvulas *by-pass*.

5.2. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

5.2.1 DESENVOLVIMENTO DA LEGISLAÇÃO

Durante o século XX foram desenvolvidos métodos de avaliação e critérios acústicos com o objectivo de adequar o ambiente acústico de espaços ocupados às correspondentes exigências de conforto relacionadas com as actividades previstas. Também a este respeito, o actual enquadramento regulamentar nacional estabelece critérios legais que deverão ser atendidos não só em situação de reclamação efectiva por parte dos cidadãos expostos ao ruído, como também, e sobretudo, em fase de projecto de novos edifícios.

A legislação nacional em vigor relativa à construção de novos edifícios encontra-se expressa no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), aprovado pelo Decreto-Lei nº 96/2008, de 9 de Junho e estabelece critérios a cumprir para avaliação das condições ambientais acústicas

estabelecidas no interior de espaços ocupados, quando em presença de ruídos de natureza intrusiva, originados a partir de instalações técnicas colectivas associadas aos usos do próprio edifício entre outros.

No RRAE, os requisitos acústicos são estabelecidos de forma diferenciada em função dos usos de cada edifício. Para os casos em estudo na presente dissertação, transcreve-se o articulado do RRAE de interesse para o estudo do ruído interior.

Além de Portugal, também na Europa e outros países, como os Estados Unidos da América e o Brasil, foram estabelecidos requisitos acústicos para os edifícios. Contudo, a importância dada a este assunto difere de país para país. Alguns países são mais exigentes e estabelecem normas a serem cumpridas. Noutros países apenas são apresentadas recomendações e orientações sobre o assunto. Com este trabalho pretende-se estabelecer uma comparação entre os requisitos acústicos dos vários países.

Apresenta-se a seguir, em termo de resumo, alguns dos regulamentos nacionais e estrangeiros aplicáveis às escolas, bibliotecas e hospitais.

5.2.2. ESCOLAS (SALAS DE AULA)

Relativamente às escolas, nota-se uma grande preocupação em todos os países sobre os níveis de ruído ambiente dentro das salas de aula.

A nível europeu, quase todos os países apresentam normas ou directivas sobre este assunto e todos eles dão um nível sonoro como limite que não deve ser ultrapassado. Destaca-se em Portugal o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [15], na Turquia o Regulamento de Controlo de Ruído (1986) [48], na França o Decreto - Lei n.º 92-1444 (1995) [44], na Bélgica a Norma NBN S01 401 (1987) [45], na Alemanha a Norma DIN 4109 (1989) [46] e por fim na Bélgica as recomendações SOSFS 1996:7 (M) [47] e no Reino Unido o documento “*Acoustic Design of Schools – A Design Guideline* (BBS93) [49] que, mais do que uma descrição dos critérios mínimos a considerar para cada caso específico, apresenta-se como um guia de apoio à construção de escolas atendendo à sua especificidade, desde a escolha do local de implantação até aos parâmetros a considerar no caso de alunos de ensino especial.

A nível mundial, cita-se a norma americana ANSI S12.60-2002 intitulada por “*Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools*”, aprovada pelo “*American National Standards Institute*” em 2002 e a norma brasileira NBR 10152 designada “Nível de ruído para conforto acústico”.

A ANSI S12.60-2002 [50] detalha os critérios de desempenho acústico de espaços de aprendizagem e define os requisitos e orientações para o isolamento sonoro. Divide os espaços de aprendizagem em várias categorias e estabelece limites máximos para cada um. Os critérios, requisitos e directrizes definidos nesta norma estão em sintonia com as qualidades acústicas necessárias para atingir um alto grau de inteligibilidade da palavra em espaços de aprendizagem. A publicação deste documento nos Estados Unidos da América marcou um movimento crescente nas preocupações acústicas e representou um progresso significativo nas respectivas implementações verificando-se uma melhoria das infra-estruturas de ensino, em termos acústicos [51].

A NBR 10152 fixa os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos [36].

Em Portugal, a actual legislação em vigor, nomeadamente o RRAE, já contempla critérios mínimos no que se refere à acústica de estabelecimentos de ensino. Contudo, os consultores acústicos devem complementá-los conforme os requisitos do público alvo de cada escola em particular.

Transcreve-se de seguida o artigo 7º do RRAE destinado aos edifícios escolares.

Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho (RRAE)

Artigo 7.º Edifícios escolares e similares, e de investigação

1 – Os edifícios escolares e similares, de investigação e de leitura estão sujeitos aos seguintes requisitos acústicos:

(...)

f) No interior dos locais de recepção indicados no quadro II, o nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, do ruído particular de equipamentos do edifício deve satisfazer as condições indicadas no quadro IV do anexo ao presente Regulamento.

(...)

Quadro IV

[a que se refere o artigo 7.º, n.º1, alínea f)]

<i>Locais</i>	<i>Nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$</i>
<i>Biblioteca</i>	<i>$L_{Ar,nT} \leq 35$ dB(A) (se o funcionamento do equipamento for intermitente)</i>
	<i>$L_{Ar,nT} \leq 30$ dB(A) (se o funcionamento do equipamento for contínuo)</i>
<i>Restantes locais de recepção indicados no quadro II</i>	<i>$L_{Ar,nT} \leq 40$ dB(A) (se o funcionamento do equipamento for intermitente)</i>
	<i>$L_{Ar,nT} \leq 35$ dB(A) (se o funcionamento do equipamento for contínuo)</i>

(...)

3 - Na determinação das componentes tonais do nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, é adoptada a metodologia definida no anexo I ao Regulamento Geral do Ruído.

(...)

5 – O edifício, ou qualquer das suas partes, é considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis, quando cumulativamente:

(...)

c) O valor obtido para o nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$ diminuído do factor I no valor de 3 dB(A), satisfaça o limite regulamentar;

5.2.3. BIBLIOTECAS

As bibliotecas, tal como já foi referido no capítulo anterior, necessitam de um ambiente acústico semelhante às salas de aula. Portanto, a maioria das normas e recomendações para as salas de aula são também aplicáveis às bibliotecas.

Por exemplo, o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) refere-se às bibliotecas no mesmo artigo em que se refere às salas de aula (Artigo 7.º). Também algumas normas europeias se aplicam quer às salas de aula quer às bibliotecas.

Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho (RRAE)

Artigo 7.º Edifícios escolares e similares, e de investigação

1 – Os edifícios escolares e similares, de investigação e de leitura estão sujeitos aos seguintes requisitos acústicos:

(...)

f) No interior dos locais de recepção indicados no quadro II, o nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, do ruído particular de equipamentos do edifício deve satisfazer as condições indicadas no quadro IV do anexo ao presente Regulamento.

(...)

Quadro IV

[a que se refere o artigo 7.º, n.º1, alínea f)]

<i>Locais</i>	<i>Nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$</i>
<i>Biblioteca</i>	<i>$L_{Ar,nT} \leq 35 \text{ dB(A)}$ (se o funcionamento do equipamento for intermitente)</i>
	<i>$L_{Ar,nT} \leq 30 \text{ dB(A)}$ (se o funcionamento do equipamento for contínuo)</i>
<i>Restantes locais de recepção indicados no quadro II</i>	<i>$L_{Ar,nT} \leq 40 \text{ dB(A)}$ (se o funcionamento do equipamento for intermitente)</i>
	<i>$L_{Ar,nT} \leq 35 \text{ dB(A)}$ (se o funcionamento do equipamento for contínuo)</i>

(...)

3 - Na determinação das componentes tonais do nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, é adoptada a metodologia definida no anexo I ao Regulamento Geral do Ruído.

(...)

5 – O edifício, ou qualquer das suas partes, é considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis, quando cumulativamente:

(...)

c) O valor obtido para o nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$ diminuído do factor I no valor de 3 dB(A), satisfaça o limite regulamentar;

5.2.4. HOSPITAIS

Para os hospitais também se aplica o Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), Artigo 8.º “Edifícios hospitalares e similares”, como já tinha sido referido. Para se poder estabelecer uma comparação com os valores indicados no RRAE, utilizar-se-á a legislação francesa referente a instalações hospitalares – Decreto-Lei de 25 de Abril de 2003 (Artigo 4.º) – relativa ao controlo de ruído em instalações de saúde.

Transcreve-se de seguida o artigo 8º do RRAE destinado aos edifícios hospitalares.

Artigo 8.º Edifícios hospitalares e similares

f) No interior dos locais de recepção indicados no quadro VI do anexo do presente Regulamento, o nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, do ruído particular de equipamentos do edifício deve satisfazer ao seguinte:

- i) $L_{Ar,nT} \leq 35$ dB(A), se o funcionamento do equipamento for intermitente;*
- ii) $L_{Ar,nT} \leq 30$ dB(A), se o funcionamento do equipamento for contínuo.*

(...)

3 – Na determinação das componentes tonais do nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$ adopta-se a metodologia definida no anexo I ao Regulamento Geral do Ruído.

5 – O edifício. Ou qualquer das suas partes, é considerado conforme aos requisitos acústicos aplicáveis, quando cumulativamente:

(...)

c) O valor obtido para o nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$ diminuído do factor I no valor de 3 dB(A), satisfaça o limite regulamentar;

5.3. VALORES LIMITES E IDEAIS

5.3.1. DEFINIÇÃO

Depois da pesquisa, análise e descrição da legislação aplicável aos espaços públicos em estudo nesta dissertação, apresenta-se neste ponto os níveis de ruído, máximos, impostos pela legislação nacional, europeia e internacional.

Os níveis máximos de ruído são valores que não devem ser ultrapassados. Como a própria definição indica, são valores máximos e não valores ideais, se forem ultrapassados poderão causar graves problemas às pessoas expostas a esses ruídos, quer ao nível da saúde quer ao nível da execução de actividades. Estes valores servem apenas como referência na execução de ensaios acústicos ou na fase de projecto. Durante a fase de projecto de um edifício sujeito a regras acústicas, devem ser atendidos por todos os projectistas envolvidos, quer sejam arquitectos, engenheiros civis ou engenheiros mecânicos. A arquitectura do edifício tal como a escolha dos materiais de construção e sua aplicação assim como todos os equipamentos mecânicos e instalações, adequados ao correcto funcionamento do

edifício e ao conforto dos seus ocupantes, são factores de igual importância em termos de contribuição para a harmonização acústica do edifício. Portanto, convém lembrar mais uma vez que, os projectistas de todas as especialidades devem aplicar as melhores técnicas e conhecimentos para que o projecto final – edifício – esteja em conformidade com a legislação. Contudo, as fontes e meios de propagação do ruído no interior de um edifício não dependem apenas do seu projecto e construção mas sobretudo do tipo de ocupação para o qual foi pensado. As maiores fontes de ruído provêm dos seus ocupantes - conversas, brincadeiras ou próprias actividades. No entanto, se se conciliar um bom projecto de construção com meios de atenuação do ruído provocado pelas pessoas, consegue-se atingir um ambiente acústico no interior dos espaços ocupados dentro dos limites recomendados.

Tal como já foi referido, os valores definidos na legislação de cada país são valores máximos, valores de referência. É pois necessário definir valores para o ruído de fundo, provocado por equipamentos mecânicos, dentro dos quais se obtenha conforto e bem-estar e as actividades previstas a serem realizadas nesses locais sejam efectuadas com agrado e satisfação (valores ideais).

5.3.2 VALORES LIMITES

A avaliação da incomodidade de um local interior (salas de aula, bibliotecas, hospitais, etc.) face ao ruído de fundo, provocado por equipamentos, pode ser efectuada por dois métodos: através da análise do nível sonoro global ou através da análise das curvas de incomodidade.

Em Portugal, assim como nos restantes países da Europa e resto do mundo, o ruído de fundo é um problema em análise constante. Em todos, ou quase todos, são implantadas regras que limitem esse problema e os efeitos provocados nas pessoas.

a) Níveis sonoros

Apresentam-se nos quadros 5.1 a 5.4, de uma forma resumida, os limites máximos admissíveis dos níveis de ruído permitidos nalguns países.

No quadro 5.1 faz-se uma comparação entre os valores máximos do nível sonoro contínuo equivalente do ruído particular (L_{Aeq}) de alguns países europeus, associado ao funcionamento dos equipamentos e instalações técnicas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC).

Quadro 5.1- Limite do nível sonoro contínuo equivalente [L_{Aeq} (dB(A))] de acordo com a ocupação [52]

PAÍS	BÉLGICA (1)	FRANÇA	ALEMANHA (2)	PORTUGAL	REINO UNIDO (3)	SUÉCIA	TURQUIA
	L_{Aeq}	L_{Aeq}	L_{Aeq}	L_{Aeq}	L_{Aeq}	L_{Aeq}	L_{Aeq}
ANO	1977/87	1995	1983	2008	1997	1995/2001	1986
NORMA /REGULAMENTO / DECRETO - LEI	NBN S01 401	D.L. n.º 92-1444	DIN 4109	RRAE	Norma 8233	SOSFS 1996:7	NOISE CONTROL REGULATION
SALAS DE AULA	30/35/40/ 45	38	35-40	30	40	26/40	45
BIBLIOTECAS	-	33	30-35	30	40	35	-

(1) Os níveis limites de ruído ambiente dependem do ruído externo na área, classificada em 4 categorias, que são:

1. $L_{Aeq} \leq 55 \text{ dB}$;
 2. $55 \text{ dB} < L_{Aeq} \leq 65 \text{ dB}$;
 3. $65 \text{ dB} < L_{Aeq} \leq 75 \text{ dB}$;
 4. $L_{Aeq} > 75 \text{ dB}$.
- (2) Ruído do ar livre e de ventilação e ar condicionado
 (3) Níveis máximos de ruído de fundo em todas as salas para o ensino de deficientes auditivos devem ser pelo menos 10 dB menor do que estes padrões

Comparando os níveis sonoros contínuos equivalentes máximos entre os vários países, verifica-se que Portugal é o país mais exigente pois apresenta o menor valor; por outro lado a Turquia e a Bélgica são os países menos exigentes neste parâmetro. Contudo, apesar de todos os países apresentarem valores consideravelmente elevados, todos eles, excepto a Suécia, apresentam regulamentação sobre este assunto e dão um nível sonoro como limite que não deve ser ultrapassado. A Suécia não apresenta legislação relativamente ao limite do nível sonoro nas salas de aula e espaços similares, mas sim uma recomendação e um limite aconselhado.

No quadro 5.2 comparam-se os valores máximos do nível sonoro contínuo equivalente do ruído particular ($L_{Ar,nT}$), associado ao funcionamento de equipamentos AVAC do RRAE com os valores máximos da regulamentação francesa (Artigo 4.º do Decreto – Lei de 25 de Abril de 2003), para as várias áreas de especialidade das instalações hospitalares.

Quadro 5.2 - Limite do nível sonoro contínuo equivalente [$L_{Ar,nT}$ (dB(A))] para hospitais

	Portugal (RRAE)	França (Decreto – Lei de 25 de Abril de 2003)
Áreas gerais		30
Salas de exames e de consulta, consultórios médicos e enfermagem, salas de espera	30	35
Salas de cirurgia e obstetrícia		40

Comparando as duas legislações verifica-se que Portugal continua a ser o país mais exigente, no entanto ainda não especificou valores concretos para cada área de especialidade nos hospitais apresentando um valor comum para todo o edifício. A legislação francesa já é mais concreta, distingue valores para cada zona hospitalar em função das actividades médicas que aí se exercem.

O RRAE também define valores limites referentes ao nível de avaliação, $L_{Ar,nT}$, do ruído particular de equipamentos de edifício, que no presente estudo se trata dos equipamentos AVAC. O RRAE define estes limites em função do funcionamento do aparelho - funcionamento contínuo ou funcionamento intermitente e do tipo de ocupação do compartimento. Para todos os valores obtidos por ensaios *in situ*, o regulamento, prevê o uso de uma margem de incerteza de 3 dB(A) a diminuir aos valores obtidos para todas as situações, para cumprimento do disposto.

No caso das salas de aula e bibliotecas, os valores limites para $L_{Ar,nT}$ são definidos no Artigo 7.º “Edifícios escolares e similares e de investigação” (quadro 5.3).

Quadro 5.3 - Edifícios escolares e similares e de investigação

Equipamentos	$L_{Ar,nT} \leq$ (dB)
Bibliotecas	30 (funcionamento contínuo)
	35 (funcionamento intermitente)
Salas de aula, de prof., polival., admin., refeitórios, ginásios, oficinas, berçários, corredor gr. circ.	35 (funcionamento contínuo)
	40 (funcionamento intermitente)

Para os hospitais, os valores limites para $L_{Ar,nT}$ são definidos no Artigo 8.º “Edifícios hospitalares e similares” (quadro 5.4).

Quadro 5.4 - Edifícios hospitalares e similares

Equipamentos	$L_{Ar,nT} \leq$ (dB)
Enfermarias ($V \geq 100 \text{ m}^3$), refeitórios, átrios/salas de espera ($V \geq 100 \text{ m}^3$)	30 (funcionamento contínuo)
	35 (funcionamento intermitente)

b) Curvas de incomodidade

O segundo método para a avaliação da incomodidade provocada pelo ruído de fundo trata-se da avaliação através das curvas de incomodidade (NC, NR e RC).

No quadro 5.5, faz-se uma comparação entre os valores de referência de NC, NR, RC e L_{Aeq} (dB (A)) para os espaços interiores em estudo, e nos quais a presença de equipamentos mecânicos é habitual:

Quadro 5.5 - Comparação entre os vários critérios de conforto acústico [53]

Tipo de Espaço	NC	NR	RC	dB(A)
Hospitais/Clínicas				
Quartos privativos	25 - 30	30	25 - 30 (N)(1)	35 - 40
Salas de cirurgia	25 - 30	30	25 - 30 (N)	35 - 40
Corredores	30 - 35	30	30 - 35 (N)	40 - 45
Enfermarias	30 - 40	30	30 - 35 (N)	40 - 45
Laboratórios	35 - 40	30	35 - 40 (N)	45 - 50
Áreas públicas	35 - 40	30	30 - 40 (N)	45 - 50
Escolas				
Salas de aula	25 - 30	35	25 - 30 (N)	35 - 40
Bibliotecas	35 - 40	35	35 - 40 (N)	40 - 50

⁽¹⁾Neutro (N) - Os níveis em bandas de oitava centrados em 500 Hz e abaixo não devem exceder os níveis da banda de oitava do espectro de referência em mais de 5 dB em qualquer ponto da escala; os níveis em bandas de oitava centrados em 1000

Hz e acima não devem exceder o nível de banda de oitava do espectro de referência em mais de 3 dB em qualquer ponto do intervalo.

Para entender melhor esta comparação entre os vários critérios de conforto acústico apresenta-se no quadro 5.6, uma outra forma de comparação destes parâmetros, desta vez classificando os espaços numa escala entre o “*muito tranquilo*” ao “*ruído excessivo*”.

Quadro 5.6 – Valores máximos ideais [54]

	Tipo de ocupação	NC	NR	dB(A)
Muito Tranquilo	Salas de concerto, teatros, estúdios de gravação	10-20	20	25-30
	Teatros ao vivo, estúdios de televisão e rádio, salas de conferências e palestras, catedrais e grandes igrejas	20-25	25	25-30
Sossegado	Salas de conferências e palestras, hospitais, cinemas	30-40	30	30-35
	Salas de audiências, bibliotecas, museus, escolas, enfermarias	30-40	35	40-45
Ruído moderado	Lojas, corredores, áreas de recepção, espaços sanitários, restaurantes, escritórios	35-45	40	45-55
Ruído excessivo	Cozinhas em hospitais e hotéis, lavandarias, salas de informática, cantinas, supermercados	40-50	45	45-55

Como se pode comprovar, os valores de referência dos vários critérios de conforto acústico, para os diferentes tipos de ocupação dos edifícios, foram definidos para cada espaço com o intuito de proporcionar as ideais condições de conforto aos seus ocupantes. Por exemplo, nos espaços públicos em estudo (escolas, bibliotecas e hospitais) pretende-se obter o mínimo ruído de fundo, o máximo de sossego, para que as actividades que aí se desenvolvem possam ser realizadas com o máximo conforto acústico.

Muito trabalho tem sido desenvolvido no sentido de manter o ruído de fundo dos locais públicos dentro de limites aceitáveis. Uma prova é a criação de regulamentos e normas relativos a este tema, quer por parte da comunidade europeia, quer por parte da comunidade internacional. Os Estados Unidos são, até ao momento, o país onde este estudo tem levado mais avanços e portanto é natural que numa pesquisa sobre este assunto se encontrem documentos sobretudo americanos.

No estudo relativo ao conforto acústico nas escolas, a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) desenvolveu a norma ANSI S12.60-2002, figura 5.2. Embora não exista uma base de dados exaustiva dos níveis sonoros nas salas de aula, há evidências consideráveis que o ruído de fundo varia muito de sala de aula para sala de aula, independentemente da idade ou localização. Por exemplo, um estudo realizado em 32 salas de aula de escolas públicas de Ohio, revelou que os níveis de ruído variavam entre 32 e 67 dB(A) [34].

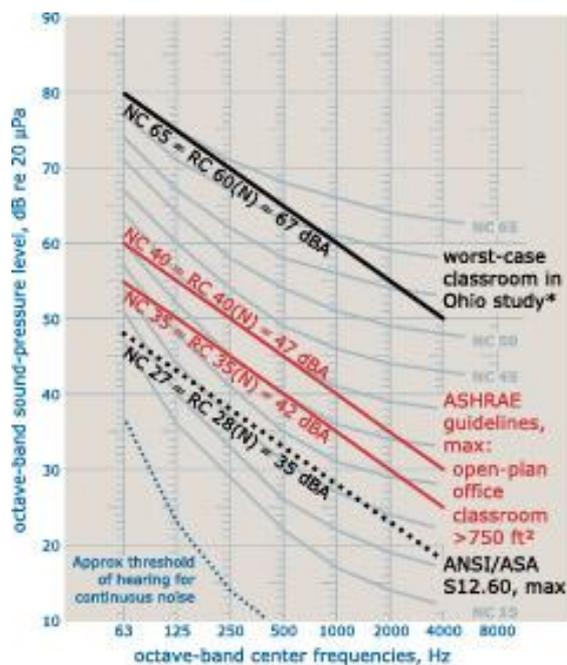


Figura 5.2 – Comparação acústica entre várias salas de aula usando a ANSI S12.60-2002 [34]

Os valores limites máximos recomendados pela ANSI S12.60-2002 para o ruído de fundo, são definidos em função do volume das salas de aula:

- Salas de aula com volume interno até 566 m³, sem ocupação durante uma hora: 35 dB(A);
- Salas de aula com volume interno superior a 566 m³, sem ocupação durante uma hora: 40 dB(A);
- Se as actividades de aprendizagem forem executadas com ruído proveniente do tráfego automóvel, os limites máximos de ruído definidos nos pontos acima devem ser aumentados em 5 dB(A).

5.4 ESTUDO DO MERCADO

Para iniciar este ponto, no quadro 5.7, apresentam-se os níveis de ruído de alguns modelos de aparelhos AVAC de três marcas conhecidas de fabricantes (Mitsubishi, Sanyo e Daikin) em função dos aparelhos de AVAC mais usuais (*Split* parede, *Split* cassete, *Split* tecto, *Split* dutado e *multi-Split*).

Quadro 5.7 - Nível sonoro para os vários tipos de equipamentos AVAC

	Mitsubishi [55]	Sanyo [56]	Daikin [57]
<i>Split</i> parede	Unidade interior: 39-45 dB(A) (Modelo PKA-RP71KAL)	Unidade interior: 22-41 dB(A) (Modelo SAP-KRV 96HEDS)	Unidade interior: 22-38 dB(A) (Modelo FTXG25EV1BW)
	Unidade exterior: 49 dB(A) (Modelo PUH-P71Y(V)HA)	Unidade exterior: 45 dB(A) (Modelo SAP-CRV 96EHDS)	Unidade exterior: 43-47 dB(A) (Modelo RXG25E2V1B)

<i>Split cassette</i>	Unidade interior: 27-31 dB(A) (Modelo PLA-RP35BA)	Unidade interior: 37 dB(A) (Modelo SPW-XR 253 EHN56)	Unidade interior: 32-58 dB(A) (Modelo FFQ60B8V1B)
	Unidade exterior: 44-46 dB(A) (Modelo PUHZ-RP35VHA)	Unidade exterior: 52 dB(A) (Modelo SPW-CR253EHL5)	Unidade exterior: 46-63 dB(A) (Modelo RXS60F2V1B)
<i>Split tecto</i>	Unidade interior: 34-38 dB(A) (Modelo PCA-RP71HA)	Unidade interior: 39 dB(A) (Modelo SPW-TR 253GH56)	Unidade interior: 33-54 dB(A) (Modelo FHQ50BVV1B)
	Unidade exterior: 49 dB(A) (Modelo PUH-P71Y(V)HA)	Unidade exterior: 52 dB(A) (Modelo SPW-CR 253EHL5)	Unidade exterior: 52 dB(A) (Modelo RXS50F2V1B)
<i>Split dutado</i>	Unidade interior: 30 - 35 dB(A) (Modelo SEH-1,6AR)	Unidade interior: 40 - 45 dB(A) (Modelo SAP-UR 94EH)	Unidade interior: 29 - 35 dB(A) (Modelo FDKS/FDXS-E)
	Unidade exterior: 47-50 dB(A) (Modelo MXZ-8A140VA)	Unidade exterior: 47 dB(A) (Modelo SAP-CR 94EH)	Unidade exterior: 43-47 dB(A) (Modelo RXS25D)
<i>Multi Split</i>	Unidades interior: 21-43 dB(A) (Modelo MSZ-GC22VA)	Unidades interior: 38 dB(A) (Modelo SAP-KMR 98EH)	Unidade interior: 22-38 dB(A) (Modelo CTXU25G2V1B)
	Unidade exterior: 47-52 dB(A) (Modelo MXZ-8A140VA)	Unidade exterior: 53 dB(A) (Modelo SAP-CMR 1828EH)	Unidade exterior: 47-62 dB(A) (Modelo 2MXU40GV1B)

O mercado apresenta uma grande variedade de fabricantes de equipamentos AVAC, e cada fabricante possui uma vasta variedade de modelos de equipamentos de AVAC. Hoje em dia o consumidor, em função do aparelho AVAC que pretende colocar na sua habitação, escritório, fábrica, ou mesmo instituição pública, tem a possibilidade de escolher o fabricante e o modelo do equipamento que melhor satisfaz as suas necessidades. O quadro 5.7 apenas representa uma de centenas de possibilidades de comparação e escolha de equipamentos. Os fabricantes, modelos de equipamentos e respectivos níveis de ruído apenas servem como um pequeno exemplo académico.

Assim, da análise do quadro 5.7 verifica-se que para o mesmo tipo de aparelho AVAC os valores dos níveis de ruído divergem muito de fabricante para fabricante. Dos três fabricantes, o que apresenta os menores níveis sonoros em todos os tipos de aparelhos AVAC, excepto nos *split* parede, é a Mitsubishi. Para os aparelhos *split* parede, a Daikin e Sanyo apresentam valores muito aproximados dos níveis sonoros para as duas unidades interior e exterior.

Embora sejam apresentados os níveis de ruído para as duas unidades, interior e exterior, para todos os aparelhos de AVAC apresentados no quadro, apenas o ruído da unidade interior contribui de forma significativa para o ruído de fundo dentro das instalações. É portanto sobre a unidade interior que recai a atenção.

Apesar dos valores das unidades interiores, referidos atrás, serem os mais baixos da tabela, mesmo assim alguns valores são considerados um pouco elevados tendo em conta o disposto no quadro 5.6. Para uma melhor compreensão apresentam-se os quadros 5.8 e 5.9 como resumo.

Quadro 5.8 - Qualidade ambiente do espaço em função do nível sonoro

	dB(A)
Muito tranquilo	25-30
Sossegado	30-45
Ruído moderado	45-55
Ruído excessivo	45-55

Quadro 5.9 – Fabricante que apresenta aparelhos AVAC com os menores níveis de ruído dB(A)

	Mitsubishi	Sanyo	Daikin
<i>Split</i> parede	39-45	22-41	22-38
<i>Split</i> cassete	27-31	22-41	32-58
<i>Split</i> tecto	34-38	39	33-54
<i>Split</i> dutado	30-35	40-45	29-35
<i>Multi split</i>	21-43	38	22-38

Da comparação entre os quadros acima confirma-se a afirmação anterior. Os fabricantes apresentam para alguns modelos apenas um valor único para o nível sonoro enquanto para outros usam um intervalo de valores para definirem esse parâmetro. Para os casos em que os fabricantes dão um intervalo de valores para o nível sonoro dos aparelhos, deve considerar-se na análise dos mesmos a situação mais gravosa que corresponde a considerar o valor mais elevado desse intervalo. Assim, da análise dos quadros conclui-se que mesmo os aparelhos que emitem menos ruído, transmitem níveis de ruído de fundo que provocam um ambiente sossegado. Ou seja, o espaço desocupado onde apenas o aparelho de AVAC está a funcionar é um espaço sossegado deixando de pertencer à classe dos espaços muito tranquilos. Mais uma vez se prova que os equipamentos de AVAC têm um grande peso para a contribuição do ruído de fundo, em qualquer espaço.

Aproveitando ainda o quadro 5.6, pode falar-se dos valores ideais para os níveis de ruído em espaços públicos.

Os espaços públicos são espaços destinados a acolher muita gente ao mesmo tempo e portanto os níveis de ruído próprios da sua ocupação já são bastante razoáveis. Tendo em consideração o tipo de ocupação desses espaços, deve ser proporcionado aos seus ocupantes todas as condições para que os mesmos se sintam confortáveis, qualquer que seja o motivo da sua presença nesses locais. É pois necessário considerar todos os mecanismos mecânicos a esse efeito. Contudo, não se pretende que os mesmos contribuam para o aumento do ruído de fundo, pelo que a sua definição, dimensionamento e localização devem ser tais que o equipamento não interfira negativamente no ambiente.

Neste sentido, todos os mecanismos não naturais que interfiram num ambiente interior devem funcionar com o mínimo de ruído. O ideal seria que o ruído fosse nulo, mas quando se tratam de equipamentos mecânicos o ruído é uma presença constante.

Os equipamentos de aquecimento, ventilação e ar-condicionado são actualmente quase indispensáveis em qualquer espaço público. Embora os fabricantes estejam a fazer um grande esforço no sentido de minimizar o seu ruído, ainda não conseguiram colocá-lo nos níveis que seriam desejáveis, ou seja em níveis de ruído que fossem praticamente imperceptíveis pelo ouvido humano.

Portanto, tendo em consideração o disposto no quadro 5.6, os valores ideais máximos para todos os equipamentos mecânicos, tendo em consideração que durante o seu funcionamento o ruído nunca se anula, deveriam estar compreendidos entre os 25 e 30 dB(A). Que correspondem às seguintes curvas de incomodidade: NR 20 e NC 10 à NC 20 ou NR 25 e NC 20 à NC 25, e a um ambiente muito tranquilo. Desta forma poderiam ser utilizados em todo o tipo de edifícios.

No caso dos modelos de equipamentos AVAC que se analisaram, embora causando um ambiente sossegado e não muito tranquilo, podem ser utilizados em todos os edifícios públicos que trata o presente trabalho – escolas, bibliotecas e hospitais, de acordo com os limites dos critérios acústicos estabelecidos para esses locais, ver novamente o quadro 5.6.

6

CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. CONCLUSÕES

O objectivo principal desta dissertação foi a análise e caracterização do ruído de equipamentos AVAC em edifícios públicos – escolas, bibliotecas e hospitais.

A climatização dos ambientes interiores dos edifícios foi, desde sempre, uma questão de muito estudo. No entanto, só há poucas décadas atrás se deu a devida importância a este assunto. A utilização de equipamentos mecânicos para controlar a temperatura e humidade no interior de espaços confinados começou por ser considerado um luxo a que apenas alguns tinham acesso. Além de serem economicamente dispendiosos a sociedade em geral considerava o uso destes equipamentos como um desperdício. Contudo, com o evoluir da ciência e das mentalidades, o uso destes equipamentos tornou-se cada vez mais usual acabando por se tornar numa necessidade, principalmente em locais que acolhem muitas pessoas, os espaços públicos.

No entanto, a utilização destes equipamentos não trouxe apenas benefícios mas também preocupações. Com o aumento acentuado de utilizações de equipamentos AVAC começaram a surgir problemas respiratórios e também queixas causadas pelo seu ruído excessivo. Estes problemas deviam-se não só à falta de limpeza e manutenção dos aparelhos como à incorrecta escolha dos aparelhos para o tipo espaço interior. Começaram então a atribuir-se responsabilidades para tais ocorrências. Chegou-se à conclusão que a falta de informação sobre o funcionamento desses aparelhos era a principal causa. Os consumidores exigiam a colocação de aparelhos mecânicos que lhes proporcionassem um ambiente interior o mais confortável possível, contudo não se inteiravam sobre a necessidade de manutenções periódicas. Por outro lado, os projectistas ainda não tinham consciência dos problemas que uma má escolha de equipamentos de climatização provocava.

Hoje, não só existe uma variedade imensa de aparelhos de AVAC no mercado adequados a todo o tipo de espaços e necessidades como as mentalidades referentes à sua utilização e funcionamento também mudaram.

Desde que os problemas começaram a surgir devido à utilização incorrecta dos equipamentos AVAC, as entidades governamentais dos países mais desenvolvidos começaram a instaurar regras para o uso destes equipamentos.

Vários foram os estudos desenvolvidos até ao momento acerca da utilização de equipamentos AVAC. A presente dissertação também se inseriu nesse contexto, pretendendo, neste caso, alertar para os problemas que o ruído gerado pelos equipamentos AVAC pode causar no ser humano, em edifícios públicos e alertar os projectistas para a necessidade da elaboração de projectos AVAC baseados no tipo de edifício e nas necessidades de aquecimento e refrigeração em função das actividades praticadas no seu interior.

Uma vez que o conceito de “edifício público” abrange uma grande área, achou-se aconselhado restringir este estudo apenas às escolas (salas de aula), bibliotecas públicas e hospitais, espaços públicos onde a permanência de pessoas é significativa durante parte do dia ou mesmo permanente.

No sentido de esclarecer pessoas que desconheçam ou tenham poucos conhecimentos na área da acústica e AVAC foi dada alguma relevância a estes assuntos ao longo do presente trabalho. Foram definidos conceitos básicos da acústica assim como a constituição e funcionamento dos equipamentos de AVAC e ainda os vários tipos de equipamentos que podem ser encontrados no mercado e as suas aplicações.

Posteriormente a esse esclarecimento passou-se a tratar dos objectivos que deram origem à escrita deste documento.

A importância dada ao assunto em estudo depende das políticas sobre o ruído dos países envolvidos. No nosso caso, para a análise e caracterização do ruído provocado pelos equipamentos AVAC verificou-se que Portugal tem uma boa e actualizada legislação sobre o ruído e sobre os requisitos acústicos dos edifícios.

Para se poder estabelecer esta análise do ruído, recorreu-se quer aos requisitos de conforto acústico – parâmetro L_{Aeq} e curvas de incomodidade (NC, NR e RC) - quer à legislação portuguesa, europeia e estrangeira. Toda a legislação se baseia em valores globais directa ou indirectamente referentes ao L_{Aeq} (nível sonoro contínuo equivalente).

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) - Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho, estabelece os requisitos acústicos em função dos usos de cada edifício, dedicando um artigo a cada classe de edifícios. Além disso, define os valores do nível de avaliação $L_{Ar,nT}$, do ruído particular de equipamentos do edifício em função do funcionamento desses equipamentos – contínuo ou intermitente. Esta regulamentação foi utilizada para a definição dos valores limites de cada edifício em estudo.

Além do RRAE e para estabelecer uma comparação entre os valores limites de alguns países, foram usados vários regulamentos estrangeiros onde a esta questão do ruído de equipamentos AVAC também é relevante. De todos os países em estudo verificou-se que Portugal é de todos esses o mais exigente nesta matéria, pois é o que apresenta os valores limites mais baixos, independentemente do edifício em causa.

Para facilitar a análise face aos requisitos de conforto acústico, foi considerada uma classificação qualitativa dos espaços desde o “muito tranquilo” ao “ruído excessivo” de acordo com os valores dos requisitos do conforto acústico, para cada tipo de ocupação dos edifícios (quadro 5.6). Além disso foram escolhidos modelos para cada tipo de aparelho de AVAC, de três fabricantes conhecidos – Mitsubishi, Sanyo e Daikin. Todos os modelos e fabricantes foram escolhidos ao acaso, devido à imensidão de fabricantes e modelos que existem no mercado. Estes modelos e fabricantes escolhidos

servem apenas como exemplos neste trabalho académico. Do catálogo de cada modelo, foi retirado o nível sonoro referente a cada uma das unidades (interior e exterior) que compõem os vários tipos de aparelhos AVAC estudados, embora apenas a unidade interior seja a principal contribuinte para aumentar o ruído de fundo.

Comparando todas as unidades interiores de todos os tipos de aparelhos AVAC, verificou-se que para o mesmo tipo de aparelho os valores dos níveis sonoros divergem muito de fabricante para fabricante. Dos três fabricantes, o que apresenta os menores níveis de ruído em todos os tipos de aparelhos AVAC, excepto nos *split-parede*, é a Mitsubishi. Para os aparelhos *split-parede*, a Daikin e Sanyo apresentam valores muito aproximados dos níveis sonoros para as duas unidades interior e exterior.

Analisando estes valores mínimos e comparando-os com os valores limites estabelecidos pelos requisitos de conforto acústico conclui-se que mesmo os aparelhos que emitem menos ruído, transmitem níveis de ruído de fundo que provocam um ambiente sossegado. Ou seja, o espaço desocupado onde apenas o aparelho de AVAC está a funcionar é um espaço sossegado deixando de pertencer à classe dos espaços muito tranquilos. Mais uma vez se prova que os equipamentos de AVAC têm um grande peso para a contribuição do ruído de fundo, em qualquer espaço.

Contudo, estes modelos de equipamentos AVAC embora causando um ambiente sossegado e não muito tranquilo, podem ser utilizados em todos os edifícios públicos que trata o presente trabalho – escolas, bibliotecas e hospitais, de acordo com os limites dos critérios acústicos estabelecidos para esses locais (quadro 5.6).

Outra conclusão que se pode tirar deste trabalho é que apesar do esforço quer das entidades governamentais quer dos fabricantes de equipamentos de climatização, o ruído dos equipamentos mecânicos contribuirá sempre de forma mais ou menos significativa para o aumento do ruído de fundo nos espaços públicos, pois ainda não se descobriu nenhum equipamento que trabalhe com ruído nulo. Contudo, grandes avanços têm sido dados por ambas as partes, as entidades têm implantado limites cada vez mais difíceis de cumprir por parte dos projectistas que por sua vez impõem aos fabricantes equipamentos cada vez mais silenciosos.

Contribuem para esta melhoria contínua os estudos desencadeados quer a nível académico quer por entidades responsáveis em garantir a satisfação dos utentes nos mais diversos locais em termos de qualidade acústica ambiente.

Para ajudar a compreender a necessidade do estudo contínuo nesta matéria, foram apresentados nesta dissertação, alguns estudos relacionados com o ruído de fundo provocado pelos equipamentos de AVAC para cada espaço público em análise.

Todos os estudos apresentados concluíram que o ruído de fundo provocado pelo funcionamento dos equipamentos está longe dos valores ideais definidos na legislação do país onde foi realizado o estudo. Além disso, os estudos apresentados permitiram concluir que de facto o ruído provocado pelo funcionamento dos equipamentos AVAC é incomodativo para os seus utilizadores e que se nota claramente a diferença no ruído de fundo quando os aparelhos são desligados.

Portanto, a temática desta dissertação foi, é, e continuará a ser um tema actual e alvo de muita pesquisa.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Muitos são os estudos já desenvolvidos a nível mundial, em torno da problemática do ruído provocado por equipamentos de Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado em espaços públicos. Contudo, devido à enorme variedade de aplicações deste tipo de equipamentos e ao constante desenvolvimento da tecnologia associado à alteração da legislação para níveis de ruído cada vez mais difíceis de cumprir, muita coisa fica ainda por analisar.

Tratando-se esta dissertação da compilação de alguns estudos relacionados com esta matéria, muita coisa ficou também por abordar. Por um lado, o estudo baseou-se apenas numa ínfima parte bibliográfica da existente mundialmente sobre o assunto e por outro lado o tema foi abordado muito superficialmente, baseando-se apenas em três dos inúmeros espaços públicos possíveis.

Num futuro próximo poderia complementar-se esta dissertação alargando-se o estudo a outros espaços públicos como tribunais, finanças, igrejas, museus, salas de espectáculos, cinemas, entre muitos outros. Além disso, o aprofundamento do tema poderá complementar-se com a compreensão do funcionamento interno dos equipamentos de AVAC no intuito de melhor compreender a “máquina” e assim ser mais fácil perceber a fonte ruidosa e as suas atenuantes.

Seria também interessante um estudo mais alargado, talvez a nível mundial, comparando-se o máximo de legislações possíveis sobre esta matéria. Por outro lado, alargando-se o estudo a nível mundial poderão efectuar-se outro tipo de comparações entre os países; por exemplo, seria interessante estabelecer uma comparação entre as legislações de países muito desenvolvidos com países de menor desenvolvimento ou comparar a utilização de equipamentos de AVAC entre esses países, em função das suas necessidades climáticas, apresentando os resultados de forma gráfica.

Para finalizar, poderá complementar-se este trabalho com uma compilação dos estudos elaborados sobre o tema em assunto, a nível mundial, ordenando-os de forma cronológica de modo a permitir uma análise da evolução dos valores recomendados pelas normas em função da evolução dos equipamentos e das necessidades de conforto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Carvalho, A. P. Oliveira de. *Acústica Ambiental e de Edifícios*. Porto, 2009.
- [2] Neto, Teresa Carvalho. *Comportamento Acústico dos Edifícios – Física das Construções -4º Ano Lic. Eng. Civil*. ISEP, Porto, 2003.
- [3] <http://audicao.webs.com>, acessado em 23/12/2009.
- [4] NP 1733/81 - Acústica – Estimativa da exposição ao ruído durante o exercício de uma actividade profissional, com vista à protecção da audição.
- [5] <http://www.univ-ab.pt/formacao/sehit/curso/ruído/uni4/limits.html>, acessado em 11/11/2009.
- [6] Prescrições mínimas de segurança e saúde respeitantes à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos ao ruído - Decreto-Lei nº182/2006 de 6 de Setembro.
- [7] ISO 226:2003 - *Acoustics normal equal-loudness-level contours, 2003*.
- [8] Creppe, Renato C., Porto, Luiz Gonzaga C. *Utilização do dosímetro nas avaliações de ruído ocupacional*. Departamento de Engenharia Elétrica, Unesp, Bauru, 2000.
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Fletcher%E2%80%93Munson_curves, acessado em 21/12/2009.
- [10] <http://prof2000.pt/users/eta/imagens/OuvidoHumano.jpg>, acessado em 21/12/2009.
- [11] <http://www.ruído-zero.pt/ruído.html>, acessado em 01/11/2009.
- [12] Penedo, Carlos. *Ruído de equipamentos electromecânicos em espaços ocupados*. CertiProjecto, São Domingos de Rana, 2008.
- [13] <http://www.engineeringtoolbox.com>, acessado em 23/11/2009.
- [14] Martins, Bernardo Fino de Matos. *Avaliação de incomodidade provocada por ruído e vibração de baixa frequência em edifícios de habitação*. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2009.
- [15] Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) - Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho.
- [16] Marques, José Manuel Fialho. *Manutenção de uma Instalação de AVAC das Áreas Limpas de uma Indústria Farmacéutica*. Mestrado em Manutenção Industrial, FEUP, 2005.
- [17] <http://www.pages.drexel.edu/~jpm55/AE/hypocaust.htm>, acessado em 15/06/2010.
- [18] <http://www.hevac-heritage.org/hall-of-fame/air-conditioning-&-refrigeration/air-conditioning-&-refrigeration.htm>, acessado em 15/06/2010.
- [19] http://eng297_aula07refrigeracao_palestra.pt, acessado em 15/06/2010.
- [20] <http://casa.hsw.uol.com.br/ar-condicionado.htm>, acessado em 23/12/2009.
- [21] <http://www.hidroclima.pt/avac.html>, acessado em 14/11/2009.
- [22] http://www.fazfacil.com.br/manutencao/ar_condicionado_instalacao.com, acessado em 23/12/2009.
- [23] <http://www.climatecnica.pt/daikin/multi-spllit.html>, acessado em 18/12/2009.
- [24] http://papodeobra.blogspot.com/2009_03_01_archive.html, acessado em 18/12/2009.

- [25] <http://ambientegelado.com.br/v20/index.php?option.com>, acessado em 23/12/2009.
- [26] <http://3.bp.blogspot.com>, acessado em 19/06/2010.
- [27] <http://www.webarcondicionado.com.br/ar-condicionado-do-tipo-dutado/>, acessado em 19/06/2010.
- [28] <http://www.daikin.pt>, acessado em 22/12/2009.
- [29] <http://www.hoteliernews.com.br/hoteliernews/hn.site>, acessado em 17/12/2009.
- [30] <http://www.mitshubish-condicionadoresdearmultisplit.com>, acessado em 22/12/2009.
- [31] <http://www.medicontrol.pt/AVAC.html>, acessado em 30/10/2009.
- [32] Maganinho, João Filipe de Oliveira. *Aplicação da metodologia multi-critério à qualidade acústica de bibliotecas públicas*. Mestrado. Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções, FEUP, 2009.
- [33] Nábělek, A.; Nábělek, I. *Acustica da sala e a percepção da fala*. In: Kartz J. *Tratado de audiologia clínica*. São Paulo: Manole, 1997.
- [34] <http://translate.googleusercontent.com>, acessado em 16/11/2009.
- [35] Oiticica, Maria Lúcia Gondim da Rosa, et al. *Interferência dos ventiladores na qualidade acústica das salas de aula da rede pública de ensino fundamental da cidade de Masceió-AL*. XXVI ENEGEP – Fortaleza, Brasil, 2006.
- [36] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – Norma NBR10152. *Níveis de Ruído para Conforto Acústico*, 1990.
- [37] <http://absurdo.wordpress.com/2008/03/12/as-mais-belas-bibliotecas-do-mundo/>, acessado em 15/06/2010.
- [38] Leite, José Yvan Pereira. *Nível de Ruído – Uma medida de qualidade nas bibliotecas*. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, Brasil.
- [39] Oliveira, Lauro César de. *Níveis de pressão sonora emitidos por equipamentos em unidade de terapia intensiva adulto*. Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, São Paulo, 2006.
- [40] Aguiar, Maria Augusta L. de. *Nível de ruídos em uma unidade de cuidados intensivos pediátricos*. *Jornal de Pediatria* – Vol. 81, No.6, 2005.
- [41] Zaror, Cleber. *Análise de ruídos em uma unidade de terapia intensiva (UTI), em um hospital Particular de Cascavel - Paraná*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Cascavel, Cascavel, 2006.
- [42] Carvalho, António P.O., Pereira, Luís F. *Ruído em incubadoras e unidades de cuidados intensivos em neonatologia*. I Congresso Iberoamericano de Acústica, Brasil, 1998.
- [43] Wilson, Charles E. *Noise Control – Measurement, Analysis, and Control of Sound and Vibration*. New Jersey Institute of Technology, Harper&Row, Publishers, New York, 1989.
- [44] *Loi n.92-1444 du 31/12/2002 - La lutte contre le bruit*.
- [45] NBN S 01-401 - *Acoustique – Valeurs limites des niveaux de bruit en vue d'éviter l'inconfort dans les bâtiments*, 1987.
- [46] DIN 4109 - *Sound Insulation in buildings; requirements and testing*, 1989.

- [47] SOSFS - 1996:7 (M) - *General advices, indoor sounds and high sound levels*, 1996.
- [48] Regulamento de Controlo de Ruído, 1986.
- [49] *A Design Guideline (BBS93) - Acoustic Design of Schools*, 1993.
- [50] ANSI S12.60-2002 - *American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools*, 2002.
- [51] Cardoso, Isabel A. *A importância da Acústica no processo de aprendizagem – Diferentes estratégias de implementação*. Universidade de Coimbra, 2008.
- [52] Vallet, Michel, et al. *Some European policies regarding acoustical comfort in educational buildings*, Institute of Noise Control Engineering, 2002.
- [53] <http://www.scribd.com/doc/4035856/NBR-10152-2000-Nível-de-Ruído-para-conforto-acustico>, acedido em 26/12/2009.
- [54] <http://acoustics.com/rc.asp>, acedido em 26/12/2009.
- [55] <http://www.mitshubish.pt>, acedido em 23/12/2009.
- [56] <http://www.sanyo.com>, acedido em 23/12/2009.
- [57] <http://www.daikin.pt>, acedido em 23/12/2009.