Instituto Politécnico de Setúbal

Escola Superior de Ciências Empresariais
Escola Superior de Tecnologia de Setúbal

Ruído Ocupacional

Baixa Frequência: Doença Vibroacústica vs. Síndrome da Turbina Eólica

Tatiana Pardal

Tese apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre

MESTRE EM SEGURANÇA E HIGIENE NO TRABALHO

Orientador: Prof. Dr. Nuno Nunes

Setúbal, 2013

Dedicatória

Dedico esta dissertação à memória do meu avô Francisco Pardal, que me deu a conhecer o significado da Família e da importância da simplicidade da vida.

Á minha Família, em espacial aos meus pais, Isabel Teixeira e André Pardal, pelo apoio e crença nas minhas capacidades.

Ao meu namorado José Trigo pela paciência, compreensão e apoio permanente.

A toda a minha Família pelo apoio no decorrer desta nova jornada académica e por nunca deixarem de acreditar.

A todos o meu muito obrigada!

Agradecimentos

A realização desta dissertação só foi possível com a disponibilidade da ***Família T*** e da ***Família C***, a quem agradeço por me "abrirem as portas" de sua casa, e me apresentarem as problemáticas existentes.

Ao ***Dr. Nuno Castelo Branco***, pela simplicidade, disponibilidade, e sabedoria transmitida.

Ao ***Professor Doutor Nuno Nunes***, pela paciência, disponibilidade e excelente orientação.

A todos o meu muito obrigada!

Índice Geral

Resumo ix

Abstract x

LEGISLAÇÃO APLICÁVEL xi

INTRODUÇÃO 1

CAPITULO 1 - ESTADO DA ARTE 2

1. Ruído de baixa Frequência e a Saúde 3

1.1 Turbinas Eólicas 4

1.1.1 Infrassons 5

1.1.2 Ruído de Banda Larga 11

1.2 Patologias Associadas ao RBF 14

1.2.1 Patologias Associadas 14

1.2.2 Dose-Resposta 14

1.2.3 Meios de Diagnóstico 15

1.3 Doença Vibroacústica 15

1.4 Síndrome da Turbina Eólica (STE) 16

2. Frequências Naturais do Corpo Humano 18

CAPITULO 2 – PROBLEMÁTICAS 21

1. Problemáticas 21

2. Pergunta de Partida 22

CAPITULO 3 – METODOLOGIA 23

1. Dados de Referência 24

1.1 Referência de Setúbal 24

1.2 Referência de Torres Vedras 25

2. Medições *In Situ* 28

2.1 Análise dos Dados 29

3. Frequências vs. Anatomia 35

CAPÍTULO 4 – DISCUSSÃO DE RESULTADOS 36

CONCLUSÕES 37

BIBLIOGRAFIA 39

APÊNDICE I – CONCEITOS DE ACÚSTICA ..... a

APÊNDICE II – MEDIÇÕES *IN SITU* (Fotografias) ..... b

ANEXO I – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SONÓMETRO c

ANEXO II – DOSSIÊ FAMILÍA C ..... d

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Estágios da Doença Vibroacústica 16

Tabela 2 – Locais de Medição 29

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Amplitudes de referência obtidas na habitação da Família C (26 de Fevereiro de 2012) 25

Gráfico 2 – Amplitudes de referência obtidas na Quinta da Família T (23 de Junho de 2011)..... 28

Gráfico 3 – Comparação das Amplitudes registadas para a Família C e para a Família T 29

Gráfico 4 - Comparação entre as Amplitudes de Referência e as Amplitudes registadas na Sonega 30

Gráfico 5 - Comparação entre as Amplitudes de Referência e as Amplitudes registadas no Poceirão 31

Gráfico 6 - Comparação entre as Amplitudes de Referência e as Amplitudes registadas em Arruda dos Vinhos..... 32

Gráfico 7 - Comparação entre as Amplitudes de Referência e as Amplitudes registadas em Pancas 33

Gráfico 8 - Comparação entre as Amplitudes de Referência e as Amplitudes registadas numa habitação junto ao Estádio do Vitória em Setúbal 34

Gráfico 9 – Comparação entre as Amplitudes de Referência e as zonas do corpo humano afetadas..... 35

Índice de Figuras

Figura 1 – Exemplos de fontes, formas de propagação e recetores 5

Figura 2 - Componentes e nível de potência sonora total numa turbina eólica de acordo com a estrutura, ar e forma de propagação..... 8

Figura 3 – Principais fontes atuantes numa pá de uma turbina eólica 9

Figura 4 - Esquematização do fluxo através da pá do rotor 10

Figura 5 – Exemplo de um espectro de 1/3 de oitavas de uma Vestas (V80) 2MW (Dawnwind) .. 11

Figura 6 – níveis de Pressão Sonora registados para uma amostra de turbinas eólicas 13

Figura 7 – Frequências do Corpo Humano..... 19

Figura 8– *Pulse* (Brüel and Kjaer)..... 23

Figura 9 – Quinta da Família T., com dois dos 4 geradores, localizados, a aproximadamente, 320 m e 640 m da casa..... 26

Figura 10 – Quinta da Família T. com os geradores 1, 2, 3 e 4 27

Lista de Siglas e Abreviaturas

CO_2 – Dióxido de Carbono

dB – Decibel

DVA – Doença Vibroacústica

EUA – Estados Unidos da América

IEC – International Electrotechnical Commission

ILO – International Labor Organization

IRBF – Incomodidade relativa ao Ruído de Baixa Frequência

LFN – Low Frequency Noise

OIT – Organização Internacional do Trabalho

RBF – Ruido de Baixa Frequência

STE – Síndrome da Turbina Eólica

VAD – Vibro – Acoustic Disease

WTS – Wind Turbine Syndrome

Resumo

A exposição ocupacional ao ruído é reconhecida como um fator de risco para a saúde dos trabalhadores estando complementada na lista de doenças profissionais no entanto, apenas a surdez é identificada como consequência do som audível sendo que, os efeitos derivados das gamas mais baixas (<500Hz) correspondentes ao Ruido de Baixa Frequência (RBF), completamente negligenciadas.

Atualmente não existe qualquer documento ou legislação que regule a exposição a gama de frequências no entanto, muitas preocupações têm vindo a ser expressas por médicos em todo o mundo sobre os efeitos prejudiciais das mesmas para os seres humanos.

As consequências identificadas em estudos mais recentes apresentam-se classificadas em duas categorias distintas: *Doença Vibroacústica* (DVA) e *Síndrome da Turbina Eólica* (STE). Estas diferem entre si devido aos fenômenos de frequência respetivamente associados e à presença ou ausência de parques eólicos.

O objetivo desta dissertação é fazer a ponte entre a caracterização do ruído de baixa frequência no que diz respeito à sua interação e consequências para o Homem no âmbito ocupacional, respondendo às perguntas de partida.

Para tal recorrer-se-á a medições efetuadas em contexto real de trabalho e respetiva análise de dados bem como, a exemplos reais representantes de cada uma das patologias.

Será desenvolvida uma caracterização e comparação das duas patologias, no que diz respeito ao RBF e as áreas anatómicas afetadas por cada gama de frequências.com recurso a análise por bandas de 1/3 de oitavas, onde será efetuada a comparação entre as amplitudes obtidas e áreas anatómicas afetadas *versus* as características apresentadas na literatura das respetivas patologias.

Pretende-se assim identificar a gama de frequências considerada mais prejudicial à saúde, seguindo-se a apresentação de propostas para a diminuição/prevenção da exposição ao RBF, em resposta à pergunta de partida.

Abstract

Occupational exposure to noise is recognized as a risk factor for the health of workers being complemented the list of occupational diseases. However, only deafness, is identified as a result of the exposure to audible sound. The effects resultant from the lower ranges (<500Hz), corresponding to the Low Frequency Noise (LFN), is completely neglected.

Currently there is no document or lows to regulate the exposure to that range of frequency however, many concerns have been expressed by doctors around the world regarding the effects of those for humans.

The consequences identified in recent studies presents the consequences in two different categories: Vibroacoustic Disease (VAD) and Wind Turbine Syndrome (ETS). The difference between each other is the phenomena associated with the respective frequency rate and the presence or not of wind farms.

The objective of this work is answering the initial question by relating the LFN to the anatomical structures affected by it and the consequences for human's.

For do to do it i used measurements made in a real work environment and respective data analysis as well and real examples to represent each of the diseases.

Will be done a characterization and comparative analysis between the two diseases with taking in to account the LFN and the anatomical areas affected by each rate of frequency, with recourse .to the 1/3 octave band analysis, doing the comparison between the sound level´s obtained and the anatomical areas affected vs. he features presented in the literature of the respective diseases.

Is intended so identify the frequency range most harmful to health, followed by proposals for reducing / preventing exposure to LFN, by answering the question of initial question.

LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

No que diz respeito à promoção da segurança e saúde no trabalho, a legislação nacional, Lei n.º102/2009 de 10 de Setembro, é particularmente exigente no que respeita ao dever da empresa informar, formar e assegurar a vigilância da saúde dos trabalhadores, no âmbito das suas estratégias de prevenção dos riscos associados ao ruído.

O Decreto-Lei n.º9/2007 de 17 de Janeiro, Regulamento Geral do Ruído, visa a prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora, tendo em vista a salvaguarda da saúde e o bem-estar das populações.

De acordo com o disposto no artigo 5º do Decreto-Lei n.º182/2006, de 6 de Setembro, o empregador tem o dever de, nas atividades suscetíveis de apresentar riscos de exposição ao ruído, proceder à avaliação dos riscos tendo em conta, entre outros aspetos, os valores limite de exposição e os valores de ação indicados no artigo 3.º do mesmo diploma.

INTRODUÇÃO

No âmbito da dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Higiene e Segurança no Trabalho, é pretendido fazer a ponte entre a caracterização do ruído de baixa frequência no que diz respeito à sua interação e consequências para o Homem no âmbito ocupacional, respondendo às perguntas de partida.

O som/ruído é um fenómeno vibratório resultante da vibração das moléculas de ar em função da pressão atmosférica, que se propaga longitudinalmente a uma velocidade de 344 m/s para 20°C (Cabral, 2006).

Quando as ondas são detetadas pelo ouvido, através do processo mecânico que as converte em vibrações, são transformadas em sinais elétricos que percecionados pelo cérebro como sons.

Ao contrário do ruído de alta frequência o RBF é muito menos perturbado por obstáculos e materiais absorventes acústicos, o que lhe permite propagar-se pela atmosfera com menos atenuação.

Tendo em conta os comprimentos de onda associados ao RBF, ocorrem maior número de ressonâncias nas dimensões correspondentes a espaços interiores mais vulgares (casas, edifícios, etc.), sendo por isso o seu controlo bastante dificultado (Nunes, 2010).

A DVA foi descoberta na década de 80 pelo anatomopatologista Dr. Nuno Castelo Branco, como sendo uma patologia sistémica que envolve todo o organismo, resultante de exposição permanente ao RBF, caracterizada pela proliferação anormal de colagénio e elastina na ausência de um processo inflamatório.

Já o STE, recentemente descoberto, tem vindo a ser estudado por Nina Pierpont (2006), é caracterizado por distúrbios do sono, onde o ruído audível/sensações físicas de pulsação/ pressão dificultam a capacidade do individuo para adormecer, fazendo com que o mesmo acorde frequentemente; cefaleias que sofrem um aumento de frequência e/ou gravidade ao longo do tempo de exposição; tonturas, instabilidade e náusea; exaustão, ansiedade, raiva, irritabilidade e depressão; problemas de concentração e aprendizagem e zumbido nos ouvidos.

Na base para o desenvolvimento do presente estudo encontram-se o ruído de baixa frequência associado à DVA, patologia não reconhecida pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) como doença profissional, uma vez que apresenta uma sintomatologia muito díspar, sendo os seus portadores muitas vezes considerados como hipocondríacos, e ao STE, como consequência da exposição permanente a ambientes ricos em RBF derivado do funcionamento das turbinas

eólicas industriais, onde o objetivo passa pela definição das consequências para a saúde da exposição ao RBF a nível ocupacional indicando assim a sintomatologia associada às respetivas patologias tendo em conta a identificação da gama de frequências comum às referidas patologias, com o instituto de identificar formas de prevenção que visem eliminar/minimizar a interação dos RBF com as frequências naturais das estruturas biológicas humanas.

A redação da dissertação terá início com o Capitulo 1, enquadramento, que fará referência ao estado da arte relativo ao ruído de baixa frequência relacionado com o funcionamento de turbinas eólicas e patologias associadas (DVA e STE); e seguido pelo Capitulo 2 onde são apresentadas as problemáticas relacionadas com o fenómeno e a pergunta de partida a responder tendo em conta o contexto do presente estudo. No Capitulo 3 serão apresentados os dados de referência em comparação com os dados recolhidos em estudo de campo, terminando com o Capitulo 4, onde será efetuada a discussão dos resultados obtidos, seguidos pela conclusão e resposta à pergunta de partida.

Para melhor compreensão da dissertação, foi desenvolvido o Apêndice I – Conceitos de Acústica, de forma a elucidar todos os interessados relativamente a todas as particularidades, fenómenos e conceitos necessários à compreensão do presente documento.

CAPITULO 1 - ESTADO DA ARTE

Segundo Baltazar (2005), mais de metade dos habitantes da Europa vive em ambientes ruidosos, sendo que um em cada três sofre de perturbações do sono resultantes do ruído.

Segundo o autor, no que diz respeito à medição de ruído ocupacional apenas é avaliado o ruído sonoro que efetivamente é ouvido e que afeta diretamente o sistema auditivo, sendo ignorados todos os restantes que afetam outras estruturas, mas que não são necessariamente incomodativos à perceção humana.

De acordo com Vendrame (2012), Maurice Raynaud, médico francês, foi o primeiro a referir os distúrbios vasculares observados em indivíduos expostos a vibrações mão-braço.

De acordo com o autor o corpo está em vibração quando apresenta um movimento oscilatório em torno de um ponto fixo. Cada vez que o ciclo é completo e se repete durante um período de tempo é denominado de frequência, medido em ciclos por segundo [Hz].

1. Ruído de baixa Frequência e a Saúde

Segundo Thomas (2011), recentemente foram efetuados estudos bastante abrangentes por médicos, patologistas e engenheiros, dos quais resultaram publicações bastante polémicas, que alertam para as graves consequências fisiológicas de residir junto parques eólicos.

As consequências identificadas nos feridos estudos foram classificadas em duas categorias, tendo em conta os fenômenos associados ao ruído das turbinas.

A primeira categoria, relacionada com a *Doença Vibroacústica* (DVA), é caracterizada pela existência de danos causados diretamente nos tecidos ou órgãos ao passo que, para a segunda categoria, relacionada com o Síndrome da Turbina Eólica (STE), se caracteriza pelos diversos sintomas relacionados com os órgãos do sistema vestibular[1], que se manifestam sob a forma de perturbação do sono, dores de cabeça, zumbido no/s ouvido/s, e sensação de tremor ou vibração, nervosismo, arritmia cardíaca, náuseas, dificuldade de concentração e de memória e irritabilidade.

Tanto a DVA como o STE podem ser muito prejudiciais e debilitantes, podendo levar mesmo à morte.

[1] Sistema vestibular: integrante do ouvido interno, encontra-se ligado à cóclea sendo o responsável pela manutenção do equilíbrio (Seeley, 2005).

O ruído emitido pelas turbinas eólicas é composto por dois conjuntos de frequência diferentes. O ruído de baixa frequência (audível) entre o 20 Hz e 500 Hz e o inaudível (infrassons), que ocorre entre os 0 Hz e os 20 Hz. O STE é provocado pelos dois conjuntos, ao passo que a DVA é causada pelo último.

1.1 Turbinas Eólicas

Bellhouse (2004), in *Low Frequency Noise and Infrasound from Wind Turbine* Generators, referência que os níveis de pressão sonora gerados pelas turbinas se encontram, na sua generalidade, entre 100 a 105 dB (A), o que corresponde a um nível de pressão muito mais baixa do que, por exemplo, a maioria das máquinas de construção.

Para que o infrassom seja audível, até mesmo para uma pessoa com uma audição mais apurada, a uma distância de, por exemplo, 300 metros seria necessário um nível de pressão sonora de 140 dB a 10 Hz, ou mais, no caso de frequências mais baixas a distâncias maiores, não existindo qualquer referência para turbinas eólicas que emitam infrassons próximos dessa grandeza.

Recentemente, Van den Berg (2006), verificou que o ruído audível produzido pelas turbinas poderá ser caracterizado como um fenómeno de batimento' (ver ponto 10 do Apêndice I - Conceitos de Acústica) pulsado, especialmente em períodos noturnos, devido à diferença entre o ar fresco ao nível do solo e do fluxo constante de energia a nível dos pólos da turbina, o que correspondente a uma zona de "atmosfera estável", em que há pouco movimento vertical do ar.
Van den Berg aferiu que, no período noturno, o ruído percorre grandes distâncias, sendo classificado como incomodativo para indivíduos que residem a cerca 2 Km dos parques eólicos, em terreno com relevo regular, e a 2,5 Km de distância em zonas de vale. Apurou ainda que as zonas montanhosas podem propiciar, ou não, as condições para que o som se propague a distâncias maiores.

Logo, de acordo com o autor, as turbinas eólicas industriais emitem baixa frequência e ruído audível, no entanto, relativamente ao RBF, de acordo os defensores das energias renováveis eólicas, se *" não se ouve o ruído então não nos pode fazer mal!"*, o que corresponde a dizer pela mesma logica de ideias que *" se os Raio X não são visíveis então não nos podem fazer mal",* o que se sabe e esta provado cientificamente que não é real, (Van den Berg, 2006).

1.1.1 Infrassons

De acordo com Anthony Rogers, *et al* (2006), as turbinas eólicas geram sons resultantes da sua mecânica e aerodinâmica.

Geralmente, na sua maioria, localizam-se em áreas rurais ou remotas que possuem características sonoras típicas, podendo o ruído ser uma preocupação para a vida pública, uma vez que muito do som emitido é mascarado pelo ruído ambiente e/ou de fundo e pelos sons típicos resultantes do vento.

Com a evolução da tecnologia, o som emitido pelas mesmas, tem vindo a diminuir devido às sucessivas alterações estruturais e aerodinâmicas, que permitiram, para além de um amortecimento mais eficaz das vibrações, aperfeiçoar o movimento do fluxo do vento através das pás o que levou ao aumento da eficiência das mesmas em transformar a energia do vento em energia de rotação, diminuindo assim o nível da energia acústica.

As emissões de som provindas de turbinas, têm vindo a tornar-se uma das áreas mais estudadas, devido ao seu impacto ambiental e respetiva engenharia eólica relacionada.
Um dos fatores mais relevantes, nestes estudos, é o ruído proveniente das turbinas eólicas no contexto apresentado na figura 1.

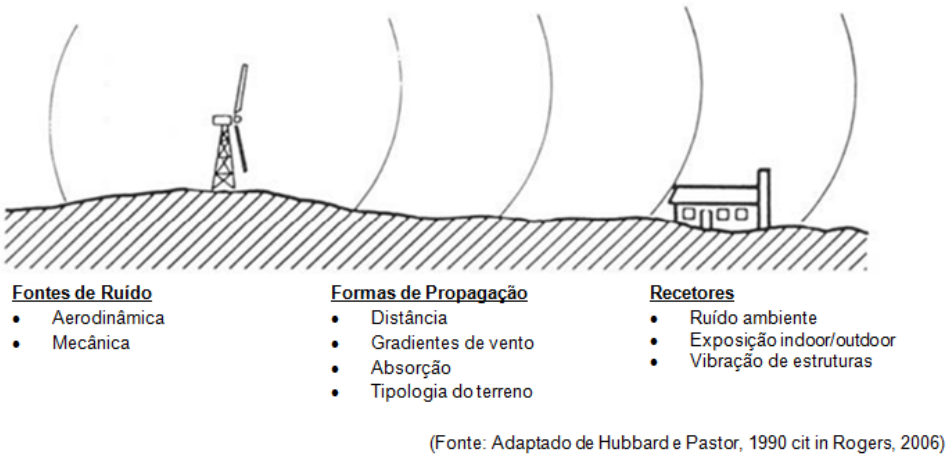


Figura 1 – Exemplos de fontes, formas de propagação e recetores

Toda a tecnologia acústica tem por base as fontes de ruído, as formas de propagação e os recetores. Os níveis de som podem ser medidos mas, à semelhança de outras preocupações ambientais, a perceção do público sobre o impacto acústico das eólicas é em parte uma

determinação subjetiva.

Segundo Hubbard e Pastor cit in Rogers *et al* (2006), o ruído é definido como qualquer som indesejado, sendo que as preocupações com o mesmo dependentes do 1) nível de intensidade, frequências de distribuição e padrões de ruído da fonte; 2) níveis de ruído de fundo; 3) tipo de terreno entre o emissor e o recetor; 4) da natureza do recetor, e 5) atitude do recetor sobre o emissor.

De uma forma geral, para os autores, os efeitos do ruído sobre as pessoas podem ser classificados em três categorias gerais tendo em conta: 1) efeitos subjetivos, incluindo irritação, falta de humor e insatisfação; 2) alteração no processo da fala, o sono e aprendizagem e, 3) efeitos fisiológicos, tais como ansiedade, zumbido nos ouvidos ou perda auditiva.

Na generalidade dos factos, antes do desenvolvimento tecnológico, os níveis sonoros associados a turbinas eólicas industriais, provocavam efeitos que se enquadravam geralmente nas duas primeiras categorias, com a evolução, passaram a conter-se maioritariamente na primeira.

Já a terceira categoria inclui situações como o trabalho dentro de produções industriais ou relacionadas com a aviação.

De acordo com o autor, para que um som seja considerado uma preocupação, têm de ser tidas em consideração as suas características (tonalidade, gama de frequência, impulsividade), assim como as circunstâncias e sensibilidade da pessoa (ou recetor) que o ouve/sente.

Devido à diversidade dos níveis de tolerância individual para o ruído, não existe qualquer forma absolutamente satisfatória que permita medir os efeitos subjetivos de ruído ou das reações correspondentes à falta de humor e insatisfação, (Rogers *et al*, 2006).

1.1.1.1 Fonte Sonora das Turbinas Eólicas

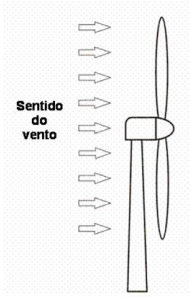
O som produzido pelas eólicas, devido ao seu funcionamento, poder-se-á classificar como fonte industrial sendo o som resultante da sua operação distinguido em quatro tipos (Rogers *et al*, 2006):

- **Som tonal**: Som com frequências discretas, causado por componentes mecânicos como as engrenagens, instabilidades aerodinâmicas que interagem com o *rotor* à superfície da lâmina, ou fluxos instáveis ao longo de buracos, fendas ou de uma ponta chanfrada;
- **Som de banda larga:** Caracterizado por uma distribuição contínua de pressão sonora com frequências superiores a 100 Hz, que resulta geralmente da interação das pás com a turbulência atmosférica;
- **Som de baixa frequência**: Representado por frequências na gama dos 20 a 100 Hz, geralmente associado com *rotores - downwind*[2], resultante do conflito da pá da turbina e fluxos anormais resultantes da corrente em torno da torre;
- **Som impulsivo:** Caracterizado por impulsos acústicos curtos ou sons de batimento que variam em amplitude com o tempo, originado pela interação das pás com fluxo de ar perturbado em torno da torre e do rotor *downwind*.

As fontes sonoras podem ser divididas em duas categorias, 1) sons mecânicos, resultantes da interação dos componentes das turbinas e 2) sons aerodinâmicos, consequentes do fluxo de ar sobre as lâminas (Rogers *et al*, 2006).

Sons Mecânicos

Os sons mecânicos têm origem no movimento relativo dos componentes mecânicos e na resposta dinâmica entre eles. Como responsáveis pela produção de tais são referenciados a



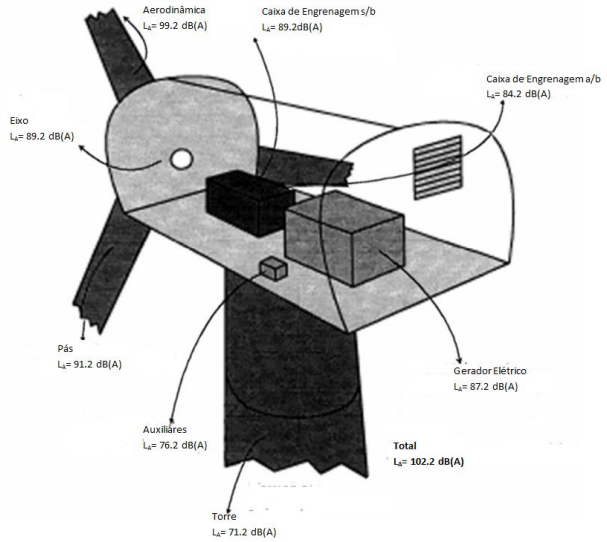
2 (elee.ist.utl.pt acedico em: 09-01-2012)

caixa de velocidades, gerador; *Yaw Drives*[3], ventoinhas de arrefecimento e equipamentos auxiliares (por exemplo, sistema hidráulico), (Rogers *et al*, 2006).

Uma vez que a emissão de som se associa à rotação dos componentes mecânicos e elétricos, o mesmo tende a apresentar características tonais (frequência constante), embora possa também apresentar componentes de banda larga. Também o eixo, o rotor e a torre podem atuar como amplificadores, transmitindo o som mecânico e irradiando-o.

A propagação do som pode ser feita por via aérea a partir da superfície dos componentes ou do interior para o ar, ou por estruturas suportadas onde o som é transmitido ao longo de outros componentes estruturais antes de ser irradiado para o ar.

Na figura 2 é apresentado o caminho de propagação dos níveis de potência sonora relativamente aos componentes individuais para uma turbina de 2 MW. De notar que a principal fonte de sons mecânicos neste exemplo é a caixa de velocidades, que irradia sons da superfície da *nacele* e da caixa de engrenagem, (Rogers *et al*, 2006).



(Fonte: Adaptado de Wagner, *et al*, 1996, cit in Rogers, 2006).

Figura 2 - Componentes e nível de potência sonora total numa turbina eólica de acordo com a estrutura, ar e forma de propagação

Cada uma das três pás numa turbina pode atingir até 70 metros de comprimento, 5 metros de largura no núcleo e pesar cerca de 15 toneladas que, com ventos fortes, as pontas das pás

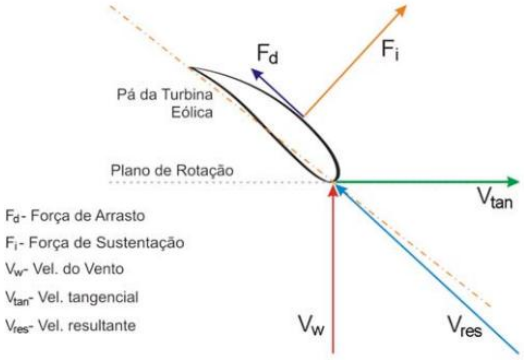
[3] As *Yaw drives* servem para garantir que a turbina eólica está a produzir a quantidade máxima de energia elétrica, e são utilizadas para manter o rotor de frente para o vento, tendo em conta as mudanças de direção do mesmo, (Burton, 2001).

podem girar a velocidades de até 320 km/h[4], exercendo uma enorme pressão sobre a nacela e a torre com cada rotação (www.abb.pt,2012).

Para além do ruído associado à atividade das turbinas, também outros riscos/perigos são coligados ao seu funcionamento. De acordo com a ABB (2012), tendo em conta as velocidades referidas e as baixas temperaturas existentes á altura da ponta das pás (70 m + altura da torre), poderá ocorrer formação de gelo, que no seu desprendimento pode atingir habitações/pessoas ou outros nas imediações da mesmas e que, em casos estremos, pode ter um efeito devastador levando mesmo em casos estremos à destruição da turbina.

Som Aerodinâmico

O som de banda larga, aerodinâmico, é geralmente a maior componente das emissões acústicas das turbinas resultante do fluxo de ar em torno das pás, que resultam de forças aplicadas sobre as mesmas (figura 3). Como representado na figura 4, ocorrem fenômenos complexos alusivos ao fluxo de ar onde cada um deles gera um som, (Rogers *et al,* 2006).

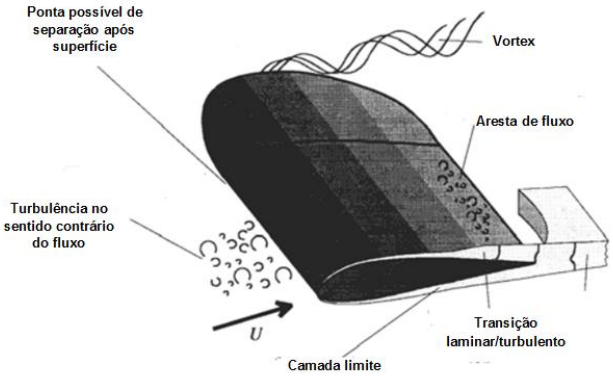


(Fonte: Montezano,2008)

Figura 3 – Principais fontes atuantes numa pá de uma turbina eólica

[4] **Exemplo de cálculo de Velocidade**

Para uma pá com 46 m (r) e uma velocidade de rotação de cerca de 4 segundos (T):
f (frequência de rotação) = 1/T $\Leftrightarrow$ f= 1/4 $\Leftrightarrow$ f=0.25Hz
Velocidade linear na ponta das pás: v = ω x r onde $\omega=2\pi f$
Então: v = ω x r $\Leftrightarrow$ v= 2π x 0.25 x 46 $\Leftrightarrow$ v= 72.2 m/s $\Leftrightarrow$ v = 260 Km/h



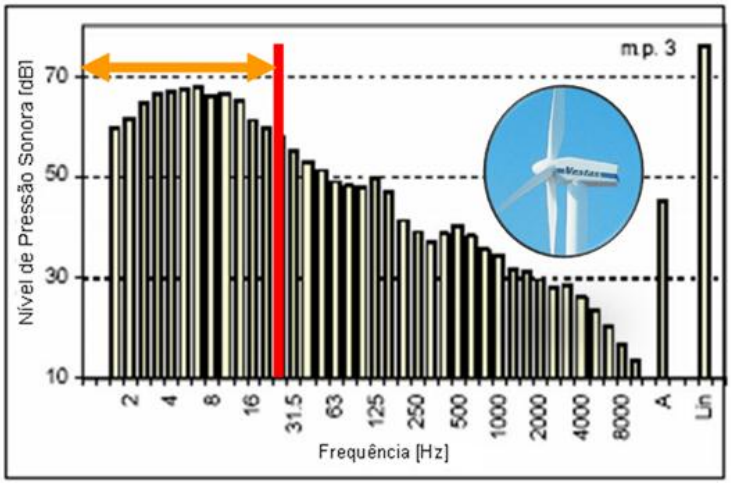
(Fonte: Adaptado de Wagner, et al, 1996 cit in Roger et al, 2006)

Figura 4 - Esquematização do fluxo através da pá do rotor

O som aerodinâmico geralmente aumenta com a velocidade do rotor, sendo os vários mecanismos que geram som aerodinâmico divididos em três grupos que são:

- **Som de baixa frequência:** Correspondente à componente de baixa frequência do espectro sonoro resultante da passagem dá pá contra o fluxo em torno da torre resultante das alterações da velocidade do vento ou na vertente das restantes pás;
- **Som Turbulento:** Depende da agitação atmosférica e dos resultados em relação com os locais ou flutuações de pressão local em torno da pá;
- **Som do aerofólio:** Específicos de componentes de banda larga, no entanto poderão resultar de componentes tonais devido aos bordos sem corte ou do fluxo de ar sob as fendas e buracos.

Um exemplo de infrassons resultantes da operação de uma turbina eólica moderna é apresentado na figura 5.



(Fonte: Adaptado de Rogers, 2006)

Figura 5 – Exemplo de um espectro de 1/3 de oitavas de uma Vestas (V80) 2MW (Dawnwind)

As amplitudes apresentadas encontram-se abaixo do limite de perceção para o Homem, (Rogers, 2006).

1.1.2 Ruído de Banda Larga

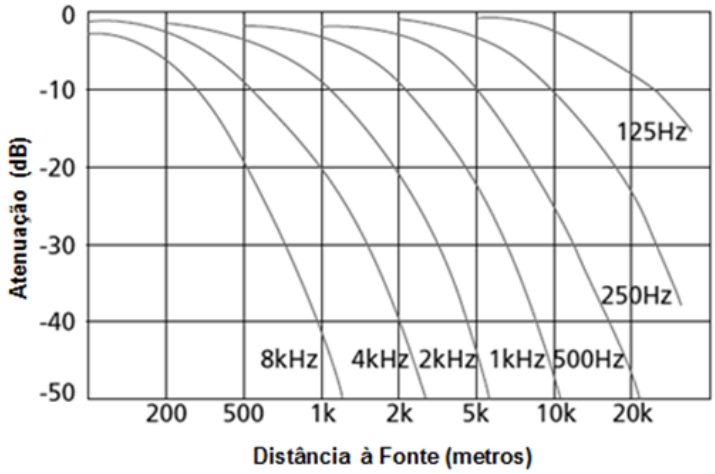
Bellhouse (2004), com base na norma australiana *Measurement, Prediction and Assessment from Noise and Wind Turbine Generators*, define o som resultante das turbinas eólicas como um ruído de *banda larga,* ou seja, como um som que não tem frequências características diferentes que lhe confiram tonalidade, mas que é composto de um amplo espectro de frequências que cobrem todo o espectro audível.

De acordo com o autor, não existem evidências que demonstrem quaisquer efeitos aquando da presença de infrassons a um nível abaixo do limiar da audição (20 Hz), o que impossibilita evidenciar as consequências do mesmo advindo das turbinas eólicas.

Para Bellhouse é de extrema importância determinar o nível de infrassons presentes em localidades habitacionais onde se encontram as turbinas de forma a evidenciar a sua predisposição para o desenvolvimento de efeitos adversos no Homem.

Segundo o autor, existem três fatores principais que afetam o som, reduzindo-o em nível à medida que se afasta da fonte sonora (diagrama 1):

- **Efeito terra**: Uma vez que o som viaja pelo ar perto do chão, parte da energia da onda sonora é removida devido à absorção do som pela cobertura do solo;
- **Absorção Molecular**: Ocorre uma interação das moléculas do ar com o som que se propaga fazendo com que a energia sonora seja reduzida devido a essa interação;
- **Radiação esférica:** Uma onda sonora que se propaga em todas as direções a partir da fonte faz com que a energia sonora seja distribuída ao longo de uma área cada vez maior, o que provoca a diminuição da intensidade sonora à medida que a distância à fonte aumenta.



(Fonte: Adaptado de Brüel, 2001)

Diagrama 1 – Atenuação do Ruído pela Atmosfera

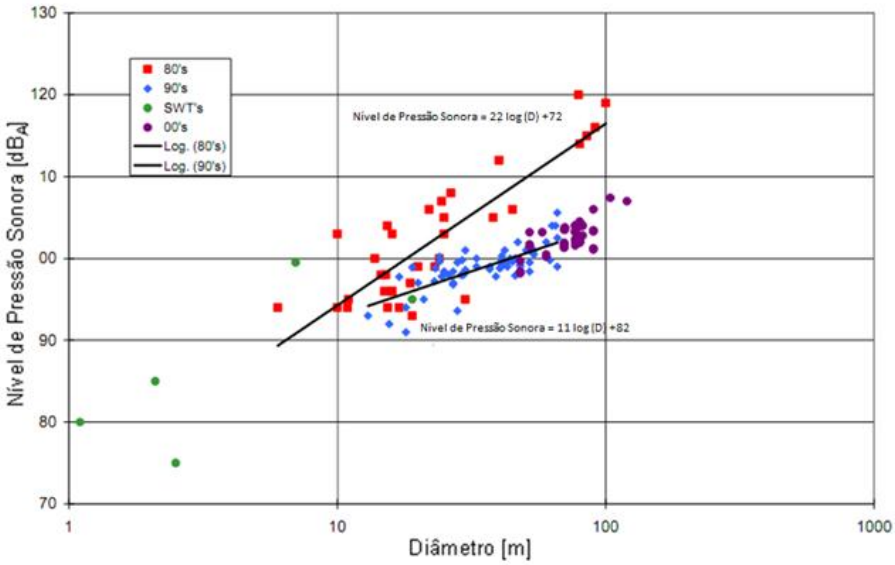
Rogers (2006), in *Wind Turbine Acoustic Noise* refere, que nos Estados Unidos da América (EUA), a norma internacionalmente aceite para a medição de níveis de potência sonora de turbinas eólicas numa escala utilitária é a *International Electrotechnical Commission* (IEC 61400-11 Standard): Sistemas de energia eólica - Parte 11: Técnicas de medição de ruído acústico [IEC, 2002], que define:

- A qualidade, o tipo e a calibração dos instrumentos a serem utilizados para as medições de som e velocidade do vento;
- Os Locais e tipos de medições a serem feitas; e
- Os dados de redução e requisitos de informação.

O referencial normativo (cit in Rogers, 2006), exige medições de som de banda larga, níveis sonoros em um terço de oitavas e tonalidade. Essas medições são também utilizadas para determinar o nível de potência sonora da turbina eólica na *nacela*, bem como a existência um qualquer som especifico com frequências específicas.

Segundo a IEC, as medições devem ser efetuadas para velocidades de vento a uma altura de 10 m de 6, 7, 8, 9 e 10 m/s, sendo as medições diretas de ruído infra sónico (< 20 Hz), ruído de baixa frequência (20-100 Hz) e impulsividade (magnitude dos fenómenos de batimento) opcionais.

Os níveis de potência sonora medidos para uma amostra de turbinas eólicas são apresentados na figura 6 em função da potência elétrica nominal.



(Fonte: Adaptado de Rogers, 2006)

Figura 6 – níveis de Pressão Sonora registados para uma amostra de turbinas eólicas

Os dados mostram que as emissões de som geralmente aumentam com o tamanho da turbina, evidenciando também a evolução dos esforços dos projetistas na década de 90, na tentativa de solucionar os problemas de ruído que resultaram em turbinas significativamente mais silenciosas do que os desenhos iniciais da década de 80.

1.2 Patologias Associadas ao RBF

1.2.1 Patologias Associadas

De acordo com o descrito por Silva (2002), a exposição prolongada ao RBF provoca um aumento significativo, quer em humanos quer em animais, da frequência de troca de cromatídios irmãos[5], o que demonstra que o RBF é um agente genotóxico; já em 2003, Ferreira (2003), conjuntamente com a sua equipa identificou um novo sintoma associado à DVA correspondente a alterações do controlo neurológico da respiração.

No mesmo ano, Branco *et al*, (2003), verificou a questão das doenças autoimunes em indivíduos expostos ao RBF, uma vez que ao observar fragmentos de pericárdio de doentes com DVA, verificou morte celular não-apoptótica6 associada a uma força biomecânica que potenciava o rebentamento das células, com os organelos aparentemente vivos, fora de qualquer membrana.

Estudos anteriores demonstraram ainda que a exposição ao RBF acelerava o desenvolvimento de lúpus eritematoso disseminado (LED) em tripulantes de voo (Aguas *et al*, 1999) e em famílias inteiras expostas permanentemente ao RBF ambiental (Torres *et al*, 2001), bem como o vitiligo associado a alterações imunológicas dos linfócitos (Castro *et al*, 1999).

1.2.2 Dose-Resposta

Até à data ainda não foi estabelecida uma relação dose-resposta relativamente à exposição ao RBF para o homem no entanto, através do contributo de estudos com recurso a animais, mais propriamente ratos Wistar, expostos a RBF durante 48 horas e mantidos posteriormente em silêncio até 7 dias após a exposição, verificou-se que o epitélio da traqueia só ficou semelhante ao dos ratos de controlo após os 7 dias em silêncio (Branco N. *et al*, 2003, 2004a); já os que foram concebidos e nascidos num ambiente exposto a RBF, e posteriormente mantidos em silêncio durante um ano, ainda apresentavam lesões evidentes do epitélio respiratório passado um ano (Branco N. *et al*, 2003, $2004_{b)}$).

Tendo em conta as evidências apresentadas, há que ter em atenção que muitas mulheres gravidas trabalham em ambientes ricos em RBF quase até ao final da gestação (Branco, 2006).

[5] Cromatídeos-irmãos são sinonimo de cromossomas idênticos, unidos apenas num ponto, o centrómero (acedido em 30/09/2012, em: www.antonio-fonseca.com).
[6] Não programada.

Por outro lado, os tecidos orgânicos do corpo humano detêm diferentes propriedades acústicas entre si, ou seja possuem frequências de ressonância[7] distintas entre si devendo então, a relação dose-resposta, ser definida tendo em conta a frequência dos eventos acústicos, ou seja, por exemplo um trabalhador sujeito a um ruído ocupacional rico em RBF na gama dos 20 Hz (infrassons), desenvolverá uma patologia relativamente diferente a um trabalhador sujeito a um ruído ocupacional na gama dos 50 – 100 Hz.

Também a suscetibilidade individual tem de ser levada em conta, pois esta influenciará a gravidade dos sintomas e a respetiva evolução clínica (Branco N., $2004_{b)}$).

1.2.3 Meios de Diagnóstico

Tendo em conta o agente da doença (RBF) e as suas consequências características, tendo em conta particularidade da doença, foram definidos como métodos de diagnóstico não invasivos a ecografia, para a visualização de estruturas cardíacas espessadas, o índice $P_{0,1}$ (CO2) para medir o *drive* respiratório, drasticamente diminuído, e os potenciais evocados que revelam alterações topográficas importantes e aumento das latências nas componentes P_3 e N_2, que quantificam o decréscimo das capacidades cognitivas (Branco N., $2004_{b)}$).

1.3 Doença Vibroacústica

De acordo com Branco (2006), nos anos 80 as alterações provocadas pelo RBF conduziram a definição da Doença Vibroacústica (DVA) pelo autor, como sendo uma patologia sistémica que envolve todo o organismo, originada por exposições permanentes ao RBF, caracterizada pela proliferação anormal de colagénio e elastina na ausência de um processo inflamatório.

Para além das fibroses do pericárdio e válvulas cardíacas, têm vindo a ser descritas alterações celulares em diferentes órgãos e sistemas.

Os seus portadores são muitas vezes considerados hipocondríacos tendo em conta a grande diversidade de sintomas que podem não se relacionar uns com os outros, como ocorre na maioria dos casos identificados, e à ausência de processos físicos que demonstrem a sua existência.

A “luta” para que seja reconhecida como doença profissional pela OIT já se prolonga por várias décadas, no entanto, apenas um número ínfimo de pessoas que se podem contar pelos dedos, foram reconhecidas como sendo portadoras desta doença e assim lhes concedida doença profissional, sendo que para isso necessários muitas provas, exames e estudos.

[7] Quando o objeto é "excitado" por algum agente externo a uma frequência igual ou próxima da/s sua/s frequência/s natural/is o objeto vibra (acedido a: 30/09/2012, em: www.searadaciencia.ufc.br).

A pré disposição para o desenvolvimento da patologia vária de individuo para individuo assim como de profissão para profissão no enanto, alguns dos indivíduos mais suscetíveis são os pilotos e hospedeiras tendo em conta o número continuado de horas que são sujeitos ao RBF, resultante da vibração e ruído provocado pelo funcionamento dos aviões no entanto, muitas outras profissões como camionistas, operadores de ferramentas vibrantes e outros, promovem o desenvolvimento da DVA nos trabalhadores (Branco, 2006).

Estádios Clínicos da Doença Vibroacústica

A evolução da doença Vibroacústica (DVA), relacionada com o tempo de exposição ocupacional foi definida em 1999 pelo Dr. Nuno Castelo Branco, através de um estudo bastante complexo tendo por base a incidência da patologia, do qual resultou o quadro 1, alusivo aos sinais e sintomas desenvolvidos por técnicos de aeronáutica, expostos ao RBF durante o período laboral normal de 8 horas/dia, 5 dias/semana.

Tabela 1 – Estágios da Doença Vibroacústica

Estádio Clinico	Sinal/Sintoma
Estádio I - Ligeiro (1-4 anos)	Ligeiras alterações de humor, indigestão e pirose[8], infeções da orofaringe, bronquite.
Estádio II - Moderado (4-10 anos)	Dor no peito, alterações do humor bem definidas, dores lombares, fadiga, infeções da pele por fungos, vírus e parasitas, inflamação da superfície gástrica, dor a urinar e sangue na urina, conjuntivite e alergias.
Estádio III – Severo (> 10 anos)	Distúrbios psiquiátricos, hemorragias da conjuntiva e dos epitélios nasal e digestivo, varizes e hemorroidas, úlceras duodenais, cólon espático, decréscimo na acuidade visual, cefaleias, dores articulares e musculares intensas, alterações neurológicas.

(Fonte: Adaptado de Branco, 1999)

1.4 Síndrome da Turbina Eólica (STE)

Nina Pierpont (2006), tem vindo a desenvolver estudos com o objetivo de definir o Síndrome da Turbina Eólica através de uma compilação de sintomas que se iniciam quando turbinas eólicas entram em funcionamento e que diminuem ou desaparecem quando os mesmos estão desligados ou quando os indivíduos se afastam das mesmas.

Os sintomas passam por distúrbios de sono, o ruído audível ou sensações físicas de pulsação ou pressão dificultam a capacidade do individuo para adormecer, fazendo com que o mesmo acorde

frequentemente; dores de cabeça, que sofrem um aumento de frequência e/ou gravidade; tonturas, instabilidade e náusea; exaustão, ansiedade, raiva, irritabilidade e depressão; problemas de concentração e aprendizagem e zumbido nos ouvidos.

No entanto, nem todos os indivíduos que vivem perto parques eólicos desenvolvem os sintomas, o que se relaciona com as diferenças de suscetibilidade de cada individuo, o que corresponde a um fator de risco, sendo a sua definição correspondente ao papel dos estudos epidemiológicos em desenvolvimento.

O distúrbio do sono crónico é o sintoma mais comum, sendo a exaustão, falta de humor, concentração e aprendizagem consequências do distúrbio.

O pré existência de enxaquecas frequentes, tem vindo a ser encarado como um fator de risco para a sensibilidade ao STE, pois não é apenas uma dor de cabeça, mas sim um fenômeno neurológico complexo que afeta a audição, visão e os sistemas responsáveis pelo equilíbrio, que por sua vez afeta os sistemas de controlo motor e da própria consciência. Muitos indivíduos têm maior sensibilidade ao barulho e ao movimento.

Para que o equilíbrio do corpo seja mantido as três funções, correspondentes à visão, recetores de movimento das articulações e músculos, e órgãos responsáveis pelo equilíbrio no ouvido interno tem de estar em sintonia ou, pelo menos dois dos sistemas têm de estar funcionais e sincronizados para a manutenção do mesmo.
Se não existir equilíbrio surge o enjoo ou vertigens, que provocam ao individuo a sensação de mal-estar e instabilidade.

Tendo em conta os factos mencionados, as eólicas interferem com o sistema através do distúrbio visual do movimento das pás respetivas sombras criadas quando o sol se encontra na retaguarda das pás que poderão ser baste difíceis de bloquear, assim como, através da baixa frequência de ondas de pressão de ar que incidem sobre os órgãos de equilíbrio do ouvido interno.

Alguns indivíduos sentem tonturas, perdem o equilíbrio, ou ficam enjoados quando vêm o movimento das sombras ou o movimento das pás entre si. O efeito de sombra tem também o potencial de desencadear crises convulsivas em pessoas com epilepsia.

Indivíduos numa classe etária mais avançada, nomeadamente idosos, representam um grupo de risco acrescido, ou seja, devido aos problemas associados à idade, a função do ouvido interno tem tendência a ficar debilitada o que afeta a comunicação entre os nervos e as partes do cérebro que recebem sinais do mesmo.

[8] Vulgarmente designada por azia, perceção da regurgitação do conteúdo do estômago para o esófago associada a esta

Para além dessa característica, na sua maioria, as pessoas idosas tendem a dormir mal, o que faz com que as mesmas estejam mais susceptíveis a perturbações de sono pelo ruído.

Indivíduos com história prévia de perda auditiva induzida pelo ruído, também poderão apresentar um grupo de risco, uma vez que, devido à exposição excessiva ao ruído de máquinas, música ou outros, os órgãos do equilíbrio no ouvido interno poderão estar danificado, o que poderá propiciar a perca de equilíbrio dos mesmos devido à predisposição existente.

As tonturas (especificamente) e a ansiedade estão relacionadas com fenómenos neurológicos, sendo que, a ansiedade e depressão não se encontram propriamente associadas a sintomas devido à proximidade de parques eólicos no entanto, poderão corresponder à resposta neurológica relacionada com as perturbações de sono, que poderão também criar ansiedade e depressão.

2. Frequências Naturais do Corpo Humano

De acordo com Pereira (2007a), todas as matérias e seres vivos possuem frequências naturais, desde os edifícios, pontes, cordas de guitarra, órgãos humanos internos entre outros, logo, se e a frequência de um ruído coincidir com a frequência natural de um objeto, o mesmo irá reagir na mesma frequência sendo e movimento do objeto ampliado.

As frequências de ressonância dos órgãos do corpo humano ao serem baixas, e as frequências das turbinas eólicas industriais ao estarem na gama das baixas frequências (por exemplo 1-2 Hz correspondente à frequência de passagem de lâmina, com harmónicas por volta dos 20 Hz), as mesmas são transmitidas através dos meios disponíveis (líquidos, sólidos ou gasoso) entre a turbina e o corpo, (Pereira,2007a).

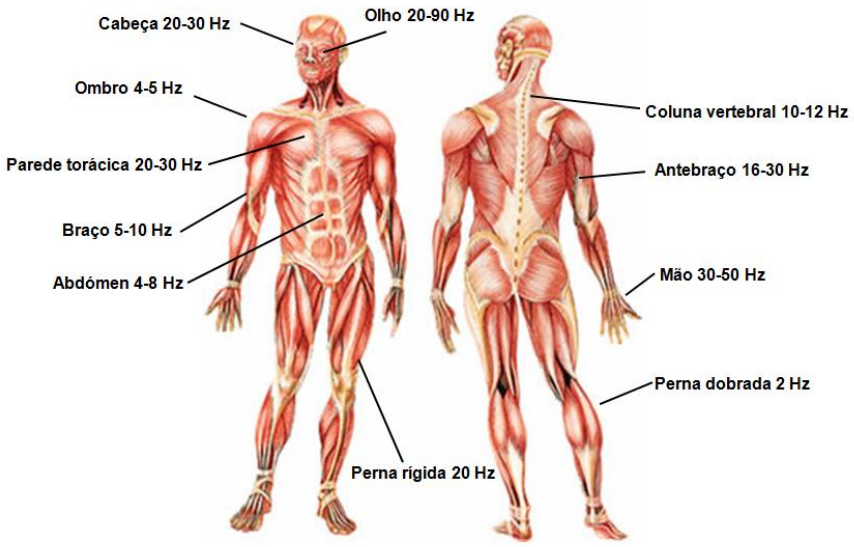
Segundo Vendrame (2012), o corpo humano é detentor de uma vibração natural, sendo que quando uma frequência externa coincide com a frequência natural do mesmo faz com que ocorra o fenómeno de ressonância, o que provoca por sua vez a amplificação do movimento.

A referida energia de vibração é absorvida pelo corpo resultante da atenuação promovida pelos tecidos e órgãos.

As vibrações podem afetar a saúde de diferentes formas, dependendo das frequências assim poderão causar sensação de conforto, perceção ou enjoo. Aquando da avaliação das mesmas os dados deverão, segundo Vendrame (2012), ser comparados com os valores contidos no Anexo B

sensação de queimadura (acedido a 27-12-2011, em: http://www.gastroalgarve.com/sintomas/pirose.htm)

da ISO 2631/97 (*Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements*), apresentados na figura 7.



(Fonte: Adaptado Vendrame, 2012)

Figura 7 – Frequências do Corpo Humano

O corpo reage de formas diferentes à vibração dependendo se as mesmas ocorrem no sentido transversal ou longitudinal (Vendrame, 2012).

De acordo com o autor os efeitos catalogados os principais e mais prejudiciais à saúde são:

- Perca de equilíbrio e redução do tempo de reflexo;
- Alterações do sistema cardíaco e aumento da frequência de batimento;
- Falta de concentração;
- Distúrbios visuais;
- Alterações do sistema gastrointestinal (enjoos, gastrite, ulcerações, etc.):
- Náuseas, vómitos e mau estar em geral;
- Degeneração gradativa do tecido muscular e nervoso (“dedo branco”, perca da capacidade manipulativa e tato nas mãos e dedos, controlo motor dificultado.

Dentro dos tipos de vibrações transmitidas ao corpo humano distinguem-se dois tipos, as

vibrações de corpo inteiro, que correspondem a baixas frequências com elevadas amplitudes, mais acentuadas entre 1 e 80 Hz que provocam lesões nos ossos, articulações e tendões, sendo que as frequências entre os 30 e os 300 Hz provocam doenças cardiovasculares. As vibrações de extremidade ou segmentais, que são as mais estudadas no âmbito ocupacional (sistema mão-braço), compreendidas entre 6,3 e os 1250 Hz, que ocorrem aquando da utilização de ferramentas de trabalho.

A vibração pode ser caracterizada por três grandezas diferentes, deslocamento, velocidade ou aceleração ou em decibéis, sendo a ultima grandeza a escolhida para o desenvolvimento do presente trabalho.

CAPITULO 2 – PROBLEMÁTICAS

1. Problemáticas

Embora se tenha tornado prática comum a comparação de ambientes acústicos em dB_A, classicamente em estudos de ruído ocupacional, a mesma é totalmente desadequada quando se relaciona a exposição ao ruído e a Saúde Pública. O ruído de baixa frequência, consiste em todos os fenómenos acústicos que ocorram a frequências iguais ou abaixo dos 500 Hz.

Uma vez que o RBF se encontra presente em todos os ambientes (rurais, urbanos, espaços residenciais, espaços comuns, etc.), não há como não estar exposto ao mesmo; logo, é de grande importância avaliar os seus efeitos para a saúde humana em geral e particularmente para os trabalhadores, de forma a tentar identificar uma forma de prevenir ou diminuir a exposição dos mesmos ao RBF ao nível ocupacional.

Para que o ruído de baixa frequência seja considerado um problema para a Saúde Pública, é necessário reconhecer que os fenómenos acústicos no geral não afetam apenas o aparelho auditivo mas sim todas as estruturas do corpo humano (Pereira, $2007_{b)}$).

Uma vez que neste campo apenas são considerados os fenómenos acústicos audíveis, as patologias associadas aos não audíveis, não fomentadas exclusivamente através do aparelho auditivo, são automaticamente consideradas irrelevantes.
Ao tentar simular a perceção do ouvido humano, toda a energia acústica correspondente às baixas frequências audíveis e não audíveis é ignorada, ou seja, para que se possa obter o "todo" real de um ambiente acústico é necessário que a amplitude média do mesmo seja medida em dB.

De acordo com a European Commission (2000) cit in Branco (2006), a incomodidade do ruído, definida pela sua Equipa de Trabalho é … *uma expressão científica de uma perturbação não-especifica causada pelo ruído (…),* que em comparação à generalidade da comunidade científica, tem uma conotação bastante diferente pois, para os autores, todas as queixas associadas à incomodidade é dada a importância de um sintoma clínico, surgindo assim a hipótese da existência de exposições contínuas e excessivas de incomodidade relativa ao ruído de baixa frequência (IRBF).

A incomodidade relativa ao RBF está presente em todas as áreas urbanas, suburbanas ou mesmo rurais, assim como em ambientes laborais e espaços de lazer e desenvolvimento de atividades lúdicas entre outras, sendo por isso a exposição a IRBF bastante frequente.

Uma vez que as estruturas biológicas não distinguem ambientes ocupacionais de residenciais

recreativos, etc., reagindo apenas às frequências e amplitudes dos fenómenos acústicos, quando se considera o RBF como um problema de saúde pública, não é cientificamente correto recolher dados apenas em ambientes laborais excluindo os demais, uma vez que o objetivo será a relação entre a exposição ao RBF e a saúde em geral.

2. Pergunta de Partida

Como objetivo geral do desenvolvimento da presente dissertação passa de uma forma geral pela averiguação das consequências do RBF a nível ocupacional respondendo à pergunta de partida:

Será que a exposição permanente ao ruído de baixa frequência provoca alterações fisiológicas no corpo humano?

- Qual a relação entre o RBF e a DVA e o STE?
- Quais as medidas de prevenção que se poderiam implementar?

Através da análise e constatações resultantes do estudo em questão deverá ser possível evidenciar a problemática da negligência do ruído de baixa frequência aquando das medições de ruído ocupacional efetuadas nas organizações a fim de cumprir os requisitos legais e regulamentares para a manutenção e proteção das condições de segurança e saúde no âmbito da higiene no trabalho dos trabalhadores.

Por outro lado, é pretendido, tendo em conta as patologias associadas à exposição ao RBF como a DVA de uma forma genérica, em todos os ambientes ocupacionais ou não só, e a STE no âmbito das turbinas eólicas, evidenciar as consequência resultantes da instalação de parques eólicos junto a zonas habitacionais, que a nível de legislação nacional, europeia ou mesmo mundial, se encontra intocável, não existindo forma de regular distâncias mínimas que viabilizem a manutenção e cuidado para com a saúde pública, devido aos interesses económicos associados, uma vez que Portugal é um dos países com o maior número de turbinas eólicas espalhadas ao longo do seu território.

CAPITULO 3 – METODOLOGIA

A metodologia a utilizar tem por base a comparação entre medições efetuadas em locais com e sem a presença de eólicas, o que inclui ambientes citadinos e rurais.

De entre os mesmos encontram-se locais onde foram identificadas situações de desenvolvimento das patologias em foco como a doença Vibroacústica e o Síndrome da turbina eólica.

Como recurso indispensável para o desenvolvimento do estudo referenciado foi identificado o equipamento de medição, sonómetro, para o registo de amplitudes a baixas frequências, *Pulse*, da Brüel & Kjaer (figura 8), com recurso a um microfone de 1 polegada e respetivo amplificador com particularidades específicas para análises de baixa frequência de acordo com as referências abaixo apresentadas. As características específicas dos equipamentos são apresentadas no Anexo I, do qual constam as fichas técnicas do microfone de campo livre, pré amplificador e calibrador.

- ***Pulse* de 4 canais da Brüel and Kjaer**
  - Nº de Série 2255962
  - Modelo 2827-62
- **Microfone de 1 polegada, campo livre**
  - N.º de Série 1269
  - Modelo 2570
- **Pré Amplificador**
  - N.º de Série 4787
  - Modelo PRM902
- **Calibrador**
  - N.º de Série 5919
  - Modelo CAL200

Figura 8– *Pulse* (Brüel and Kjaer)

Para a aquisição de dados com o *Pulse* não existe qualquer tipo de restrição relativa à gama de amplitudes de baixa frequência a regista no entanto, a gama de frequências a ser analisada situar-se-á entre os 6,3 e 500 Hz.

A análise a efetuar terá por base gráficos em bandas de 1/3 de oitavas, onde será relacionada a amplitude em dB Linear (dB Lin), com as respetivas frequências, sendo o equipamento a utilizar nas medições devidamente calibrado previamente à execução de cada medição.

1. Dados de Referência

Tendo em conta que o presente estudo tem como foco a comparação de ambientes acústicos em que foram identificados portadores de patologias identificadas como DVA e STE, será de toda a importância ter como valores de referência as amplitudes registadas nesses dois locais que representam para a DVA uma habitação familiar, num prédio situado na zona centro de Setúbal, e para a STE numa habitação rural em Torres Vedras.

1.1 Referência de Setúbal

Em Novembro de 2002, o casal Castro com idades compreendidas entre os 55 e os 57 anos para o membro masculino e feminino respetivamente, adquiriu uma residência na zona centro de Setúbal.

Passados cerca de nove meses a um ano, após a mudança para a referida habitação, a família começou a desenvolver sintomatologia associada a DVA como:

- Tonturas, perca de equilíbrio e amnesia (no membro do sexo masculino);
- Vómitos e descontrolo intestinal (membro do sexo feminino).

Após várias tentativas de identificar as causas para os problemas de saúde que se começaram a evidenciar desde então, foi em Setembro de 2004 que, no Centro da Performance Humana em Alverca (distrito de Lisboa, concelho de Vila Franca de Xira, Portugal), e através de métodos de diagnóstico complementares pelo Dr. Nuno Castelo Branco, o casal ficou a saber que sofria então de DVA provocada pelo ruído de baixa frequência existente na sua habitação (evidenciado nos relatórios contantes do no Anexo II: Dossiê Família C onde se efetua uma comparação dos valores de amplitude de RBF obtidas na casa com as obtidas no cockpit de um avião).

Na entrevista pessoal decorrida em Fevereiro de 2012, (constante integralmente no Anexo I), foram registadas as seguintes declarações:

"Por vezes sinto os músculos e as articulações a "retrair" derivado ao aumento da pressão que sinto na cabeça em conjunto com dificuldade em respirar e baixa de tensão associada. Tenho de sair de imediato para a rua!
Sinto uma pressão na cabeça e uma zuada constante nos ouvidos que chega a ser tão insuportável que se torna doloroso. Durmo muitas vezes no carro por não suportar a pressão que se faz sentir no apartamento quer no Verão quer no Inverno, situação que dura já há cerca de 10 anos!" (A.C., Fevereiro de 2012).

"Chego a vomitar três a quatro vezes por noite, a pressão por vezes é tão grande que tem de passar o dia inteiro na rua e por vezes chega mesmo a dormir no carro porque não suporto a pressão na cabeça e nos ouvidos que sinto na minha própria casa" (E. C., Fevereiro de 2012).

No mesmo período em que foi diagnosticada a doença, a investigadora, Mariana Alves Pereira, desenvolveu um estudo relativo à caraterização acústica na habitação deste casal, contante no dossiê da Família C.

O valor das amplitude adquiridas na habitação da Família C a utilizar nas comparações futuras são apresentadas no gráfico 1.

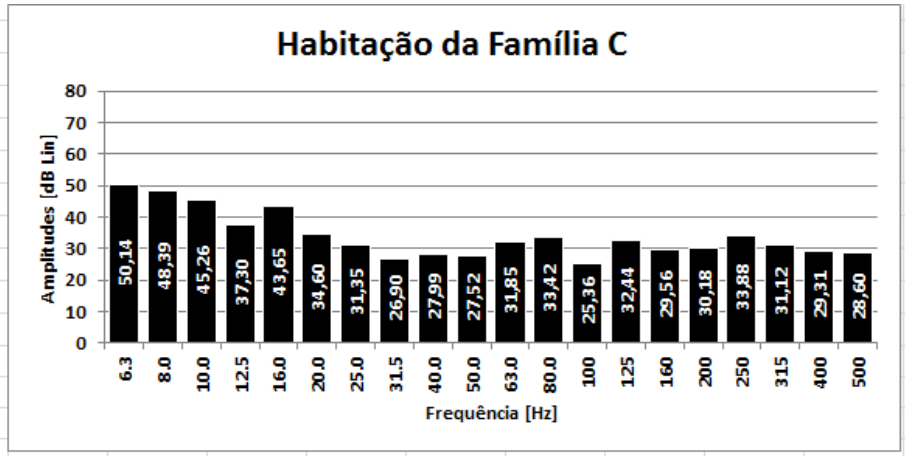


Gráfico 1 – Amplitudes de referência obtidas na habitação da Família C (26 de Fevereiro de 2012 pelas 10horas)

1.2 Referência de Torres Vedras

Em Novembro de 2006, foi instalado o Parque Eólico do Joguinho II, junto a uma quinta com 17,8 hectares (figura 9), sita em Casa Pinheiro, Vila Seca, Maxial, Torres Vedras, composta por 13 turbinas eólicas assíncronas, com uma potência unitária de 2000 KW, treze postos de transformação a uma potência de 26 000 kVA, 20/60 kV; rede de cabos subterrâneos de 20 kV que interligam os postos de transformação e a subestação; um transformador para os serviços auxiliares de 25 kVA, 400/230 V e respetivo equipamento de comando, corte, proteção e medição (Acórdão, 2009 e 2012).

Quatro das turbinas, figura 10, foram instaladas em redor de uma Quinta (Acórdão, 2009).

(fonte: Pereira, M., 2007)

Figura 9 – Quinta da Família T., com dois dos 4 geradores, localizados, a aproximadamente, 320 m e 640 m da casa

A Quinta fora contígua ao gerador eólico número 2, (atualmente eliminado), e permanece vizinha dos números 1, 3 e 4.

Os geradores eólicos atingem uma altura de cerca de 100 metros (compostos pela torre, com cerca de 65 m, ao que acresce as pás com um raio de aproximadamente 35 m.

- O gerador eólico n.º 2, no passado, estaria a uma distância muito reduzida da habitação, ou seja, a cerca de 320 m da habitação;
- O gerador eólico n.º3 está a uma distância de 540 m;
- O gerador eólico n.º4 está a uma distância de 580 m; e
- O gerador eólico n.º1 está a uma distância de 640 m.

Após o início do funcionamento dos geradores junto à Quinta, o seu proprietário e restante família começaram a apresentar alguns indícios de alterações físicas e psicológicas, que a família associa à proximidade dos geradores eólicos da habitação e respetivo funcionamento contínuo dos mesmos.

(Fonte: Google Maps consultado a 1/10/2011)

Caixa amarela corresponde à localização da Quinta
Círculos azuis correspondem a alguns dos geradores eólicos próximos da Quinta.

Figura 10 – Quinta da Família T. com os geradores 1, 2, 3 e 4

Os sintomas apresentados pelos membros da família passaram por insónias, dores de cabeça frequentes, falta de memória, maior irritabilidade, intolerância progressiva ao ruído, cansaço permanente, enjoos, tonturas, perca de equilíbrio e ainda queixas relativas ao ruído provocado pela rotação das hélices (Acórdão,2009).

Em termos anatómicos, no caso concreto do proprietário da Quinta o Sr. R., confirmou-se (de acordo com o acórdão, 2012), que entre 2007 e 2010:

- Ocorreu um espessamento do pericárdio de 1,7 mm para 4,5 mm;
- Uma diminuição do défice respiratório de 46% para 16% (que corresponde a uma perca da sensibilidade ao CO_2, o que corresponde a alterações neurológicas no controlo automático da respiração), e
- Um aumento do P300 de 316 m/s para 346 m/s (onde o valor de referência é 300m/s, o que corresponde a uma quebra rápida da capacidade cognitiva).

Entre a sintomatologia característica da DVA, referenciada no Capitulo 1, ponto 1.2, a Família T identificou ainda como incomodativos:

- A sombra das pás do gerador eólico n.º 2, que sobrevoava a Quinta, afetando o picadeiro exterior e o coberto, que consequentemente assustava os animais, deixando-os nervosos;

- Funcionamento dos geradores eólicos n.º 1 e n.º 2 ser contínuo 24 horas dia; e
- O ruído no interior e exterior da casa, descrito como semelhante ao de um "aeroporto com aviões a levantar voo permanentemente".

De acordo com o estudo desenvolvido na Quinta, no âmbito do processo da Família T vs. a empresa responsável pelo parque eólico, verificou-se que a uma determinada velocidade do vento, no período da noite, é excedido muitas vezes o valor limite de exposição estabelecido no Regulamento Geral do Ruído, (Acórdão, 2012).

Os valores de amplitude adquiridos na habitação da Família T, a utilizar nas comparações futuras, são apresentadas no gráfico 2.

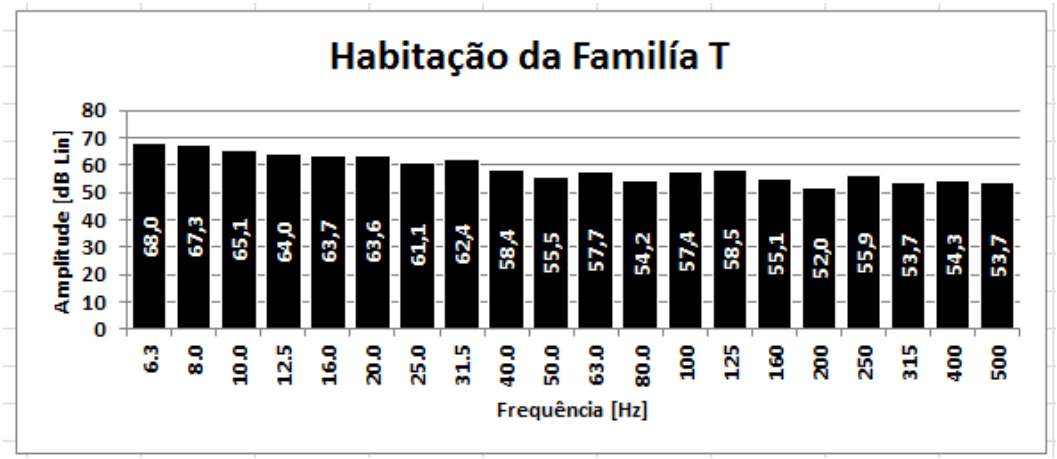


Gráfico 2 – Amplitudes de referência obtidas na Quinta da Família T (23 de Junho de 2011, pelas 9h30)

2. Medições *In Situ*

Tendo como objetivo implícito deste estudo demonstrar algumas particularidades acústicas das zonas em estudo, ou seja, as amplitudes (em dB Lin), registadas e as características das duas situações específicas, é necessário comparar os dados recolhidos nesses locais com os recolhidos em localizações distintas com e sem a presença de turbinas, apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Locais de Medição
(Todas as medições tiveram uma duração de 2 min e foram efetuadas no período da manhã)

Local	Data/s	Observações
Quinta, Torres Vedras	27 Maio 2011 23 de Junho 2011	Medições junto à entrada da Quinta, na Zona de Pasto e junto a uma eólica nas imediações da Quinta.
Parque de Eólicas na Zona da Sonega, Porto Covo	5 de Junho 2011	Medições na zona de entrada de um parque eólico.
Fazenda de Vinha, Rio Frio, Poceirão	21 de Setembro 2011	Medição em Zona de Vinha (Campo Livre).
Arruda dos Vinhos	9 de Dezembro de 2011	Medição em suinicultura junto a uma turbina sem caixa redutora
Picadeiro de Pancas, Benavente	23 de Setembro 2011	Medições na zona dos estábulos e na zona de pasto
Habitação na Rua Manuel de Arriaga, Setúbal	26, 27, 28 e 29 de Fevereiro de 2012	Medições efetuadas na habitação da Família Ca quem foi identificada a DVA
Habitação junto ao Estádio do Vitória de Setúbal, Setúbal	24 e 26 de Fevereiro de 2012	Medições efetuadas numa habitação sem qualquer tipo de associação a ruído de baixa frequência

2.1 Análise dos Dados

Tendo em conta a caracterização acústica dos locais de referência, gráfico 3, a partir do qual é efetuada a respetiva análise, proceder-se-á posteriormente à comparação das mesmas em relação aos dados recolhidos *in situ* identificados na tabela 2.

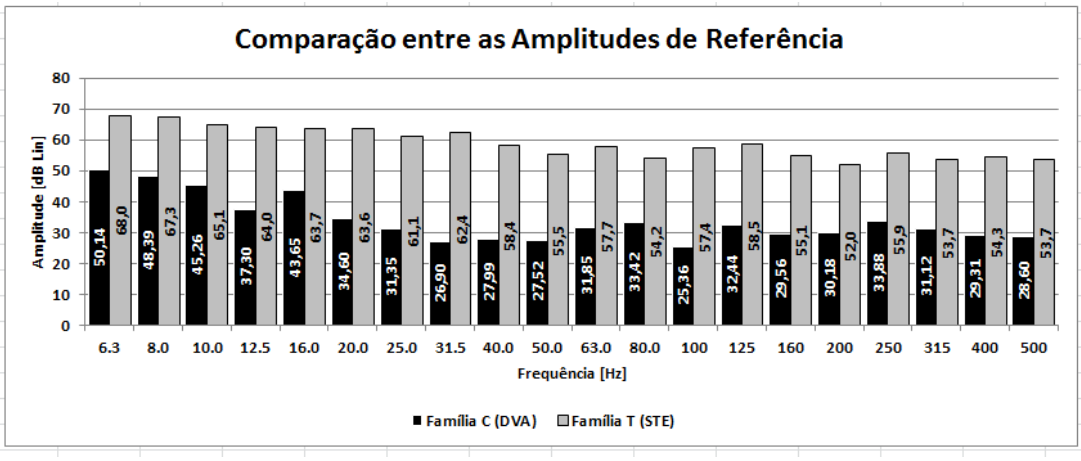


Gráfico 3 – Comparação das Amplitudes registadas para a Família C e para a Família T

Análise Gráfica: Tendo em conta o gráfico 3, verifica-se que as amplitudes registadas na casa da Família C são em média cerca de 20 dB (Lin) inferiores aos registados na Quinta da Família T.

Tendo em conta que ambas as medições realizadas tiveram lugar dentro da habitação das respetivas famílias, o facto dever-se-á à presença de turbinas eólicas no caso da família T, sendo

que o ruído de baixa frequência se propaga a grandes distâncias e que as turbinas circundam quase na totalidade a habitação, ficando a mesma no "centro", a soma das amplitudes das diferentes turbinas resultaram nas amplitudes apresentadas.

No caso da Família C, sendo que a fonte do ruído de baixa frequência será proveniente do andar supra e não originária de um conjunto de fontes sonoras, justificam-se as amplitudes apresentadas.

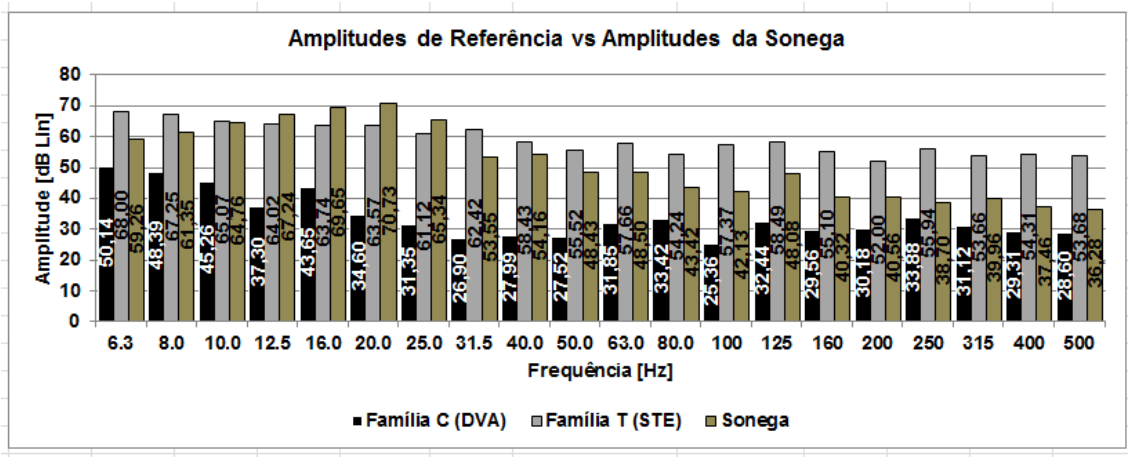


Gráfico 4 - Comparação entre as Amplitudes de Referência e as Amplitudes registadas na Sonega

Análise Gráfica: Tendo em conta a análise do gráfico 4, no que concerne as amplitudes de referência em relação às amplitudes obtidas para o parque de eólicas em Sonega (fotografia 1 no Apêndice II), verifica-se que:

- As mesmas são muito superiores quando comparadas com as amplitudes registadas para a Família C;
- As amplitudes registadas na residência da Família T são muito próximas das obtidas no local de comparação, o que seria previsível uma vez que ambas as localidades se encontram na presença de turbinas.

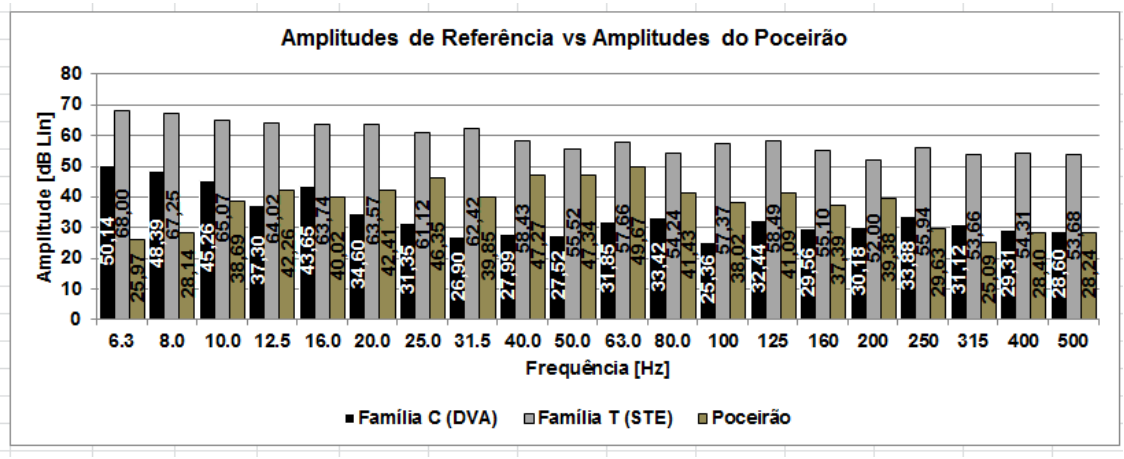


Gráfico 5 - Comparação entre as Amplitudes de Referência e as Amplitudes registadas no Poceirão

Análise Gráfica: No que se refere à análise do gráfico 5 contendo as amplitudes de referência em relação às amplitudes obtidas em zona de vinha, Poceirão (fotografia 2 no apêndice II), verifica-se que:

- As amplitudes de referência para a Família C são na sua generalidade inferiores às obtidas na zona de vinha, exceto para as frequências entre os 6,3 Hz e os 10 Hz. No enanto para as frequências entre os 250 Hz e os 500 Hz apresentam valores de amplitude bastante próximos;
- As amplitudes de referência para a Família T sobrepõem-se na totalidade aos obtidos na Zona de Vinha.

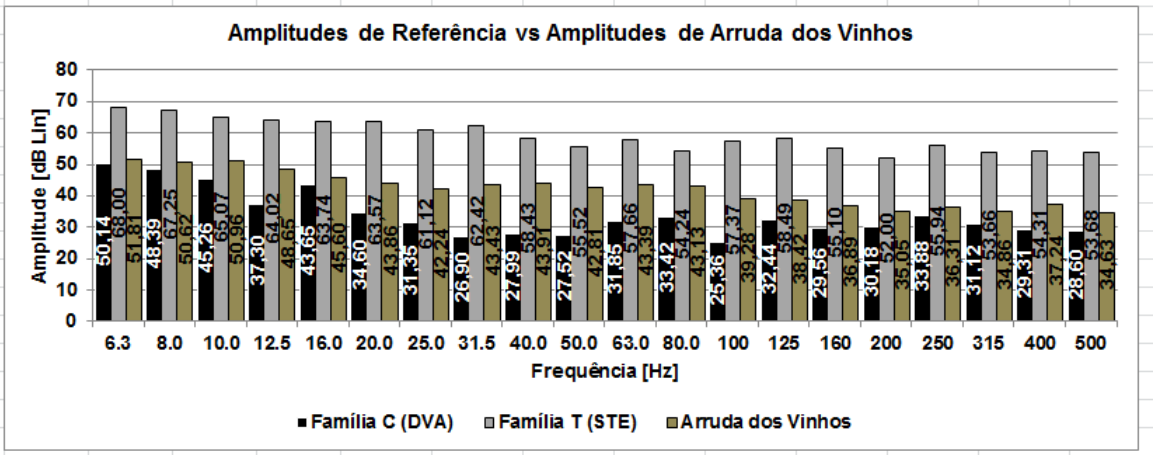


Gráfico 6 - Comparação entre as Amplitudes de Referência e as Amplitudes registadas em Arruda dos Vinhos

Análise Gráfica: Tendo em conta o gráfico 6 referente às medições de referência em comparação com as amplitudes registadas em Arruda dos Vinhos junto a uma eólica sem caixa redutora verifica-se que:

- As amplitudes registadas para a Família C são, para todas as frequências, inferiores às obtidas no local de comparação; no entanto, verifica-se que para as frequências a partir dos 160 Hz os valores de amplitude tendem a ser mais próximos;
- Tendo em conta que, tanto para as amplitudes registadas para a Família T, como para a suinicultura em Arruda dos Vinhos, se verifica a presença de turbinas eólicas, as amplitudes difere bastante. As registadas para a Família T apresentam-se superiores ao longo de toda a gama de frequências apresentada. No entanto, verifica-se uma redução das mesmas a partir dos 50 Hz, sensivelmente, verificando-se uma tendência para a aproximação.

No entanto, denota-se uma grande discrepância de amplitudes quando a turbina eólica apresenta caixa redutora (Família T), e quando não (Arruda dos Vinhos).

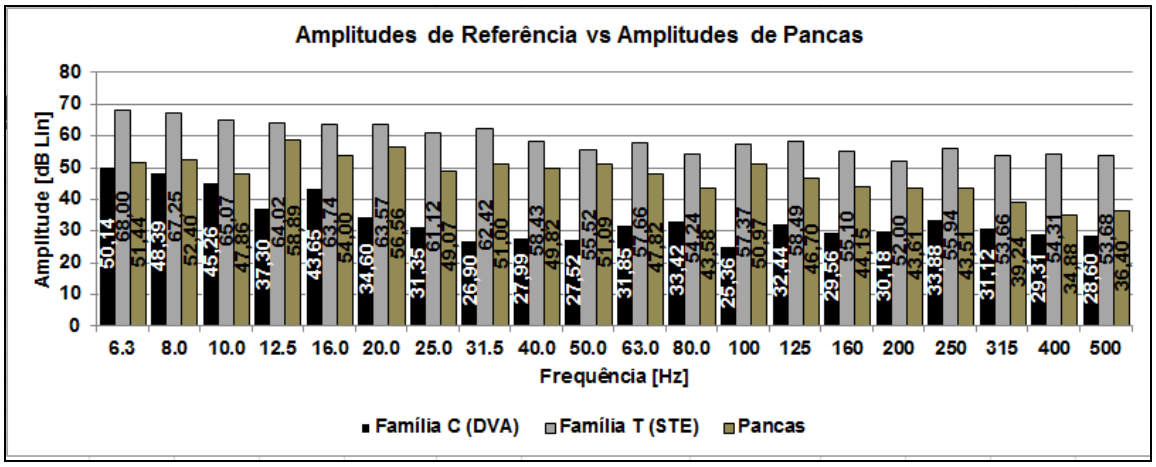


Gráfico 7 - Comparação entre as Amplitudes de Referência e as Amplitudes registadas em Pancas

Análise Gráfica: Tendo em conta a análise do gráfico 7 no que concerne as amplitudes de referência em relação às amplitudes obtidas para o picadeiro em Pancas (fotografia 4 no Apêndice II), verifica-se que:

- No que concerne às amplitudes de referência para a Família C verifica-se que para as frequências iniciais (entre os 6,3 Hz e os 10 Hz) as amplitudes são muito próximas, facto que se repete sensivelmente entre os 200 Hz e os 500 Hz embora com valores não muito próximos (cerca de 10 dB (Lin) de diferença. Nas frequências centrais verifica-se que as amplitudes recolhidas no picadeiro se encontram acima das amplitudes registadas na habitação da Família C.

- As amplitudes de referência da Família T são superiores na generalidade às identificadas no picadeiro; no entanto, a partir dos 100 Hz, apresentam amplitudes muito próximas. O facto poderá resultar de picadeiro se localizar numa zona geográfica bastante próxima da Base Aérea do Montijo, onde estão consecutivamente aviões em treino a sobrevoar a área e, uma vez que este tipo de aparelhos também são uma fonte de baixas frequências, existe uma grande possibilidade de mesmas terem sido detetadas pelo aparelho de medição dado que são muito próximas das obtidas junto dos geradores eólicos.

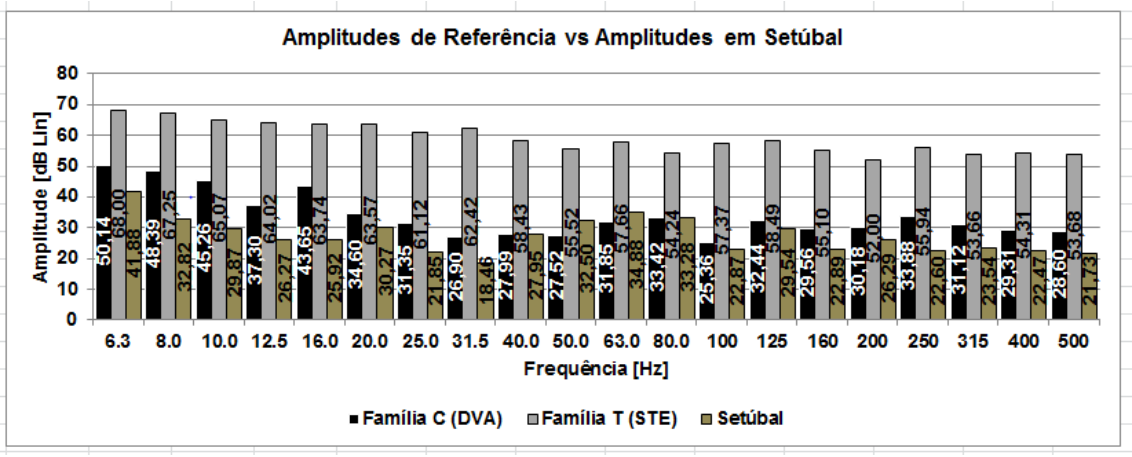


Gráfico 8 - Comparação entre as Amplitudes de Referência e as Amplitudes registadas numa habitação junto ao Estádio do Vitória em Setúbal

Análise Gráfica: Tendo em conta o gráfico 8, correspondente à comparação entre às amplitudes de referência e as amplitudes registadas numa habitação na zona centro de Setúbal verifica-se que:

- As amplitudes registadas na habitação da Família C são muito próximas das registadas na habitação no centro de Setúbal principalmente a partir dos 20 Hz no entanto, entre os 6,3 Hz e os 12,5 Hz, a diferença dever-se-á ao trafego rodoviária em cada uma das zonas, mais intenso na habitação da Família C, apesar de ambas se situarem na mesma zona geográfica correspondente à zona centro de Setúbal;

- Nas amplitudes registadas para a Família T verifica-se que, até aos 50 Hz, as mesmas são bastante superiores à habitação de comparação (entre 20 a 30 dB (Lin)), verificando-se mais do dobro do valor de amplitudes em algumas frequências (ex. para os 16 Hz), diminuindo essa diferença a partir dos 20 Hz mas no entanto mantendo a superioridade em cerca de 10 dB (Lin).

3. Frequências vs. Anatomia

Tendo por base as amplitudes de referência apresentadas no gráfico 3 e a figura 1 onde são identificadas as zonas afetadas em relação às frequências naturais resulta o gráfico 9.

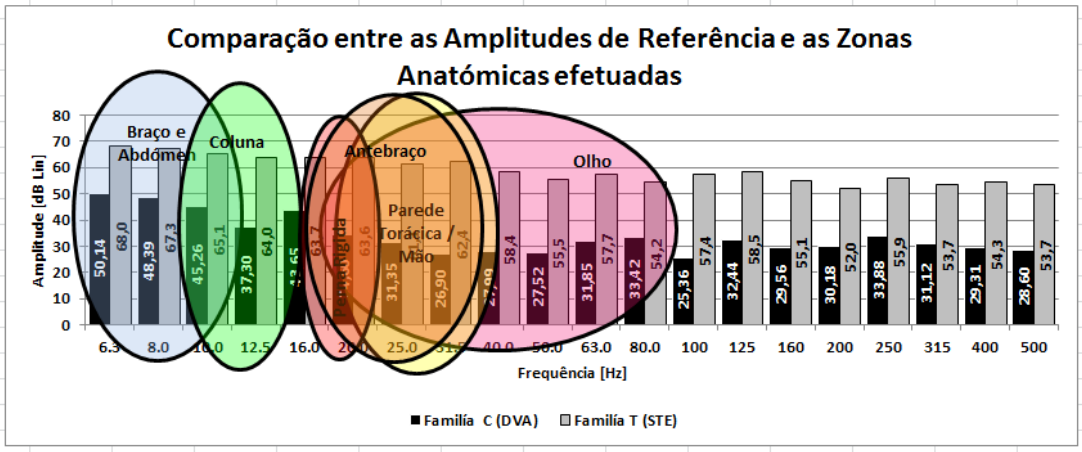


Gráfico 9 – Comparação entre as Amplitudes de Referência e as zonas do corpo humano afetadas

Análise gráfica: Tendo por base o gráfico 9, verifica-se que as amplitudes mais elevadas se encontram na gama de frequências naturais que afetam essencialmente as estruturas anatómicas como o braço e o abdómen, a coluna vertebral, o antebraço, parede torácica e mão.

No entanto, a concentração das frequências que afetam mais áreas em comum, situam-se entre os 16 e 31,5 Hz.

As frequências identificadas são coincidentes com as estruturas descritas, afetadas pela exposição ao RBF, constantes dos relatórios médicos/factos apresentados da Família C e da Família T respetivamente.

CAPÍTULO 4 – DISCUSSÃO DE RESULTADOS

De acordo com o estado da arte e as evidências recolhidas, é possível verificar que, devido às frequências de ressonância existentes e diferenciadas para as diferentes partes do corpo humano, principalmente no tórax e crânio, o RBF torna-se um agente patogénico devido à gama de frequências em que está contido (0 - 500 Hz), o que consequentemente relaciona a DVA e a STE.

Devido à pressão sonora resultante de determinados comprimentos de onda que ressoam dentro dos espaços contíguos do corpo humano transformadas em vibrações, às quais o corpo responde através do reforço dos seus tecidos com recurso ao aumento da produção de colagénio, surgem problemas como o espessamento do pericárdio (membrana que envolve o coração) e válvula cardíaca, fibrose pulmonar e/ou proliferação das células de glia, que são células de suporte cerebrais.

O ruído de baixa frequência é sentido pelos ouvidos dos indivíduos expostos como uma pressão em vez de som, ou através da experiência de uma sensação ou vibração na zona do peito ou na garganta.

Residentes contíguos a zonas com turbinas eólicas industriais descrevem a sensação como angustiante ao sentirem a necessidade de respirar em sincronia com uma pulsação rítmica das turbinas que não é necessariamente audível, especialmente à noite quando tentam dormir.

Assim, tendo em conta os gráficos obtidos para a habitação da Família C e Família T, verificou-se que as frequências problemáticas, que poderão estar a promover o desenvolvimento da DVA e STE, se encontram entre os 6,3 e os 31,5 Hz, que de acordo com o diagnóstico médico desenvolvido e estudo *in situ*, afetam as zonas e estruturas anatómicas relacionadas com as respetivas frequências.

Desta forma é evidenciada a gravidade da não avaliação das baixas frequências no contexto ocupacional, não obstante da preocupação para com a própria saúde pública, e que é urgente a tomada de medidas para a resolução deste problema de forma a melhorar as condições de vida e de trabalho.

CONCLUSÕES

Tendo em conta a pergunta de partida: "*Será que a exposição permanente ao ruído de baixa frequência provoca alterações fisiológicas no corpo humano?"*, Conclui-se que é urgente adotar medidas de controlo/diminuição do mesmo.

Desde a revolução industrial que o ruído tem vindo a ser apresentado como uma das principais causas da degradação das condições de trabalho, com efeitos nocivos para os trabalhadores e para as populações que coabitam perto destes locais onde se estabelecem fontes industriais ruidosas.

Em termos da perceção por parte do trabalhador, a mesma resulta em distúrbios e alterações estruturais decorrentes das vibrações na gama das baixas e médias frequências, comuns à Doença Vibroacústica (DVA) e Síndrome da Turbina Eólica (STE), transmitidas a todo o corpo como resultando da exposição constante a fontes de ruído.

Esta reproduz efeitos sobretudo ao nível da coluna vertebral, causando o aparecimento de hérnias, lombalgias, afetação do sistema digestivo e cardiovascular, perturbação da visão, inibição de reflexos entre outras, conforme constatado ao longo do desenvolvimento do presente estudo.

Como medidas de prevenção, relativamente à STE, verifica-se que não deverá ser permitida a instalação de parques eólicos a menos de 500 m de qualquer estrada ou habitação.

Aqueles que vivem a cerca de 800 m deverão ser informados que iram ser sujeitos a experimentar níveis de ruído muito incômodos, que se propagam (embora em menor grau) a 1600 m ou mais das instalações do parque.

Para além de todas as consequências e fenómenos identificados, todas as desvantagens de morar junto a um parque eólico devem ser tidas em consideração.

Inerente aos fenómenos externos resultantes do funcionamento das mesmas, é identificado o perigo de queda de objetos, nomeadamente blocos de gelo, devido às baixas temperaturas que se registadas ao nível das pás, tendo em conta a altura e velocidade de rotação das pás.

Estas originam forças centrífugas que poderão originar o desprendimento do gelo e atingir os locais próximos da eólica.

Também o mau funcionamento, como por exemplo o desequilíbrio das pás ou a perda do controlo de velocidade de rotação, pode levar à destruição do aerogerador e assim atingir habitações ou

outras estruturas circundantes ao mesmo.

No que respeita à DVA, tendo em conta os efeitos adversos e os riscos identificados da exposição ao RBF, deverão ser adotadas medidas em termos ocupacionais, para a substituição de equipamentos ou ambientes "riscos" em baixas frequências, ou em caso de impossibilidade, reduzir o tempo de exposição ao mesmo por parte dos trabalhadores ou outros.

Assim, tendo em conta o estudo efetuado deveram ser promovidos e contemplados na legislação nacional, os riscos associados a esta problemática e estabelecidos tempos de limite/recuperação para indivíduos sujeitos a tais estímulos principalmente entre as frequências compreendidas entre os 6,3 e os 31,5 Hz.

As perspetivas futuras passam então pela proposta de criação de legislação que, à semelhança do Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei n.º9/2007 de 17 de Janeiro), visem a prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora, tendo em vista a salvaguarda da saúde e o bem-estar das populações onde sejam definidos de limites de exposição a baixas frequências, contemplando assim a DVA e a STE, idealmente reconhecidas como doenças profissionais pela OIT.

BIBLIOGRAFIA

- Acórdão do Tribunal da Relação de Lisboa, Processo n.º 9051/2008-1 (13/01/2009);
- Acórdão Tribunal da Relação de Lisboa, Processo n.º 2209/08.0TBTVD.L1 (12/09/2012);
- Aguas, P., Esaguy, N., *et al* (1999). Acceleration of lupus erythematous-like processes by low frequency noise in the hybrid NZB/W mouse model. *Aviation Space Environmental Medicine.* 70 (3): 132-136;
- AS 4959 (2010) - Measurement, Prediction and Assessment of Noise from Wind Turbine Generators**.** – (1ªEdição). Standards Australia. Australia;
- Bellhouse, G. (2004). Low Frequency Noise and Infrasound from Wind Turbine Generators: A Literature Review, *Bell Acoustic Consulting*. Wellington, New Zealand;
- Branco N., Pereira, M., *et al*, (2003). SEM and TEM study of rat respiratory epithelia exposed to low frequency noise. Em: Science and Technology Education in Microscopy: An Overview, A. Mendez-Vilas (Eds.), *Formatex.* Spain: Badajoz. Vol. II, pp. 3-505;
- Branco, N., (1999). The clinical stages of vibroacustic disease. *Aviation, Space and Environmental Medicine.* 70 (3): 32-39;
- Branco, N., Ferreira, P. *et al*, (2004a). Respiratory epithelia in Wistar rats after 48 hours of continuous exposure to low frequency noise. *Revista Portuguesa de Pneumologia.* 9(6): 473-479;
- Branco, N., Monteiro, E., (2004b). Respiratory epithelia in Wistar rats born in low frequency noise plus varying amount of additional exposure. *Revista Portuguesa de Pneumologia*. 9 (6): 481-492;
- Branco, N., Pereira, M. (2006, Mar/Abr), Doença Vibroacústica. *Revista Segurança n.º161, Suplemento Especial*;
- Burton, T. *et al* (2001), *Wind Energy Handbook*. *John Wiley e Sons, Ltd.* 2ª Edição. Baffins Lane, Chichester;
- Cabral, F. et al. *Higiene, Segurança, Saúde e Prevenção de Acidentes de Trabalho,* Volume II. Verlag Dashöfer, Lisboa;
- Castro, A., Aguas, A., et al (1999). Increase in CD8+ and CD4+ T lymphocytes in patients with

vibroacoustic disease. *Aviation, Space and Environmental Medicine.* 70 (3): 141-144;

- Decreto-Lei n.º182/2006, de 6 de Setembro. Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2003/10/CE (EUR-Lex), do Parlamento Europeu e do Conselho, de 6 de Fevereiro, relativa às prescrições mínimas de segurança e de saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (ruído). *Diário da República - 1.ª Série, Nº 172, de 06.09.2006, Pág. 6584.* Assembleia da República. Lisboa;
- Decreto-Lei n.º9/2007 de 14 de Novembro, Aprova o Regulamento Geral do Ruído e revoga o regime legal da poluição sonora, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de Novembro. Diário da República - 1.ª série, nº 12, de 17.01.2007, Pág. 389. Assembleia da República. Lisboa
- European Commission (2000). *The noise policy of the European Union — Year 2*. Luxembourg;
- Ferreira, R., Mendes, J., et al (2003). Diagnosis of vibroacoustic disease – preliminary report. Em: Proceeding, *8th International Congress of Noise as a Public Health Problem*. Holland: Rotterdam. pp112-114;
- http://elee.ist.utl.pt/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereEolienne/Generalites/Generalites/GeneralitesEolien2.htm - Acedido a 09-01-2012;
- http://www.abb.pt – Acedido a 18-10-2012;
- http://www.gastroalgarve.com/sintomas/pirose.htm - Acedido a 27-12-2011;
- http://www.searadaciencia.ufc.br – Acedido a 30-09-2012;
- IEC 61400-11 (2006) – *Acoustic Noise Measurement Techniques*. – (2ª Edição). International Electrotechnique Commission. Suíça;
- ISO 2631 (1997) - Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General requirements (2ª Edição). International Standard Organization;
- Lei n.º102/2009 de 10 de Setembro. Regulamenta o regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho. *Diário da República - 1.ª Série, nº 176, de 10.09.2009, Pág. 6167*. Assembleia da República. Lisboa;

- Leventhall, G. (2004). Notes on Low Frequency Noise from Wind Turbines with special reference to the Genesis Power Ltd Proposal, near Waiuku NZ. *Hegley. Acoustic Consultants*;
- Nunes, F. (2010), *Segurança e Higiene do Trabalho – Manual Técnico*. 3ª Edição. Amadora: Edições Gustave Eiffel;
- Pereira, M., Branco, N. (2007a). Vibroacoustic Disease: Biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signaling. *Progress in Biophysics and Molecular Biology,* 93:256-279;
- Pereira, M., Branco, N. (2007b). Sobre o Impacto de Infrassons e Ruído de baixa Frequência na Saúde Pública – Dois Casos de Exposição Residencial. *Revista Lusófona de Ciências e Tecnologias da Saúde*, 2 (4): 186-200;
- Pierpont, N. (2005). *Health, hazard, and quality of life near wind power installation – How close is too close*? Acedido em: 02/01/2012, em: http://www.savewesternny.org/pdf/Pierpont-Health_hazard.pdf;
- Pierpont, N. (2006). *Wind Turbine Syndrome: Noise, Shadow Flicker, and Health*. Acedido em: 05/01/2012, em: http://highlandmts.org/wp-content/uploads/2010/01/wind-turbine-syndrome-noise-shadow-flicker-and-health-pdf1.pdf;
- Rogers, A. *et al* (2006). Wind turbine Noise. *Renewable Energy Research Laboratory*. University of Massachusetts, Amherst;
- Seeley, R.; Stephens, T., *et al* (2005), *Anatomia e Fisiologia.* 6ªEdição. Lusodidacta.
- Silva, J., Dias, A., *et al* (2002). Low frequency noise and whole-body vibration caused increased levels of sister chromatid Exchange in splenocytes of exposed mice. *Teratogenesis, Carcinogenesis & Mutagenesis*, 22 (3): 195-203;
- Thomas, A. (2011). Wind Turbine Syndrome and Vibroacoustic Disease. Acedido em: 29/12/2011, em: http://windwisema.org/about/noise/wind-turbine-syndrome-and-vibroacoustic-disease/;
- Torres, R., Tirado, G., *et al* (2001). Vibroacoustic disease induced by long-term exposed to sonic booms. *Internoise 2001*, pp.1095:1098;
- Van der Berg, GP. (2006). *The sound of high wind: The effect of atmospheric stability on wind turbine sound and microphone noise*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de

Groningen, Holanda. Acedido em: 05/01/2012, em: http://irs.ub.rug.nl/ppn/294294104;

- Vendrame, A. (2012). *Vibrações Ocupacionais*. Acedido em 20/04/2012, em: http://www.vendrame.com.br/novo/artigos/vibracoes_ocupacionais.pdf.

APÊNDICE I – CONCEITOS DE ACÚSTICA

APÊNDICE II – MEDIÇÕES *IN SITU* (Fotografias)

ANEXO I – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS SONÓMETRO

ANEXO II – DOSSIÊ FAMILÍA C