

# 2º SIMPÓSIO DE ACÚSTICA E VIBRAÇÕES

24 MAIO 2019 – COIMBRA, PORTUGAL

LIVRO DE ATAS



itecons

# PREFÁCIO

O reconhecimento de que o ruído e as vibrações são uma fonte de incomodidade vem desde a antiguidade. A sua identificação como um sério risco para a saúde é um desenvolvimento dos tempos modernos. Hoje em dia, a Acústica e as Vibrações são áreas interdisciplinares, abrangendo disciplinas como a física, a engenharia, a psicologia, a audiologia, a música, a arquitetura, a psicologia e a neurociência, entre outras, não se limitando, por isso, à análise e controlo de ruído e vibrações. Os investigadores e engenheiros têm, pois, desafios muito diversificados, no sentido de estudar soluções que contribuam para a salvaguarda da saúde e bem-estar das populações, bem como para melhorar a funcionalidade de espaços e equipamentos. A partilha destes desafios e das soluções encontradas é, assim, fundamental para o avanço do conhecimento nestas áreas. É com este objetivo que se realiza a segunda edição do Simpósio de Acústica e Vibrações, em Coimbra, a 24 de maio, dinamizada pelo Itecons (Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade), após o bom acolhimento que este evento teve em 2017.

O presente suporte digital do livro de atas do Simpósio de Acústica e Vibrações compila 17 comunicações de 50 autores, em temas diversos tais como acústica ambiental, acústica de edifícios, aeroacústica, mapas de ruído, materiais inovadores, medições acústicas e instrumentação, soluções sustentáveis, vibrações em edifícios, etc.

A Coordenação do simpósio aproveita para expressar a sua gratidão: aos autores, sem a participação dos quais este evento não faria sentido; à Comissão Científica que contribuiu para uma revisão cuidadosa de todos os resumos; à Comissão Organizadora que teve um papel fulcral na concretização deste evento; e a todos os patrocinadores e às entidades que apoiaram a divulgação do simpósio.

Finalmente agradece a todos aqueles que não foram nomeados e, de uma forma ou outra, contribuíram para o sucesso deste evento.

Coimbra, maio de 2019



Julieta António

# COMISSÕES

## COORDENAÇÃO DO SIMPÓSIO

Julietta António  
Itecons, ADAI-LAETA, UC

## COMISSÃO CIENTÍFICA

Albano Sousa  
IST

Ana Falcão

António Pedro Carvalho  
FEUP

António Tadeu  
Itecons / UC

Carlos César Rodrigues  
ISEL

Carlos Fafaiol  
ARTACústica

Cecília Rocha  
FEUP

Diogo Alarcão  
IST

Diogo Mateus  
UC

Elisabete Freitas  
UMinho

Fátima Inglês  
INIAV

Fernando Lau  
IST

Fernando Schiappa

Igor Castro  
Itecons

João Oliveira  
IST

Joel Vera Cruz Paulo  
ISEL

Jorge Fradique  
IPQ

Jorge Patrício  
LNEC

Lígia Torres Silva  
UMinho

Luís Godinho  
UC

Luís Santos Lopes  
Acustiprojecto

Manuel Gameiro  
ADAI / UC

Mário Mateus  
ADAI

Miguel Matos Neves  
IST

Octávio Inácio  
InAcoustics

Odete Domingues  
LNEC

Paulo Amado Mendes  
UC

Pedro Arezes  
UMinho

Rui Calejo  
FEUP

Sónia Antunes  
LNEC

## **COMISSÃO ORGANIZADORA**

Ana Isabel Neves  
Itecons

Ângela Coelho  
Itecons

Beatriz Marques  
Itecons

Catarina Serra  
Itecons, ADAI-LAETA

Inês Simões  
Itecons, ADAI-LAETA

Joana Figueiredo  
Itecons

Joana Prata  
Itecons, ADAI-LAETA

João Vieira  
Itecons

José Nascimento  
Itecons

## **SECRETARIADO**

Itecons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico  
para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade

Rua Pedro Hispano, s/n  
Pinhal de Marrocos  
3030-289 Coimbra

Telefone: +351 239 79 89 49  
acustica2019@itecons.uc.pt  
acustica2019.uc.pt

# Proposta Metodológica para Avaliação dos Impactes Não-Auditivos do Ruído de Baixa Frequência no Sistema Auditivo Humano

JULIANA ARAÚJO ALVES<sup>1,2</sup>

LÍGIA TORRES SILVA<sup>2</sup>

PAULA REMOALDO<sup>1</sup>

FILIPA PAIVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Paisagens, Património e Território (Lab2PT), Universidade do Minho | Portugal

<sup>2</sup>Centro de Território, Ambiente e Construção (CTAC), Universidade do Minho | Portugal

Autor correspondente: lsilva@civil.uminho.pt

## Palavras-chave

Metodologia de avaliação, Incomodidade devida ao ruído, Limiar de audição, Ruído de Baixa Frequência.

## Resumo

A incomodidade tem sido reportada como o efeito não-auditivo mais frequente da exposição humana ao ruído de baixa frequência. As várias metodologias existentes para a avaliação da incomodidade devida ao ruído de baixa frequência aplicam o filtro de ponderação A, que contribui para que os valores medidos fiquem abaixo dos valores considerados prejudiciais para a saúde. Esta investigação avaliou os impactes da exposição ao ruído de baixa frequência em áreas residenciais, com a presença de postes e linhas de alta tensão, no sistema auditivo humano e apresenta uma metodologia de avaliação da incomodidade orientada exclusivamente para as baixas frequências. Do ponto de vista metodológico, os protocolos desenvolvidos foram adaptados tendo por base a ISO 8253-1/2010 e foram compostos por três etapas: a determinação do limiar de audição, a avaliação da incomodidade e a realização de testes cognitivos. A metodologia desenvolvida mostrou-se adequada à finalidade pretendida, uma vez que avaliou a percepção do ruído de baixa frequência e mostrou a necessidade de ampliar o intervalo mínimo de frequência para avaliar o impacto desse tipo de ruído na população. Os valores registrados foram percebidos como desconfortáveis pelos voluntários. Isso mostra a fragilidade dos métodos existentes para avaliar o desconforto no ruído, que geralmente são baseados em parâmetros objetivos.

## 1 | INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial de Saúde [1], a poluição sonora é a segunda maior forma de poluição ambiental. Estima-se que mais de 100 milhões de europeus estão expostos a níveis de  $L_{den}$  acima de 55 dB e mais de 72 milhões estão expostos a níveis de  $L_{night}$  superiores a 50 dB [2]. Portugal é o quarto país da União Europeia mais afetado com o ruído ambiental, com 23,5% da sua população afetada, superado apenas pela Alemanha (26,1%), Holanda (25,6%)

e Malta (25,0%) [3]. No entanto, essas estatísticas, na sua grande maioria, dizem respeito ao ruído ambiente proveniente do tráfego rodoviário. De acordo com a Agência Europeia do Ambiente [4], o ruído ambiental é responsável por pelo menos 10 mil casos de morte prematura por ano na Europa e mais de 8 milhões de adultos sofrem distúrbios de sono associados ao ruído. Além disto, o ruído ambiente está entre os principais riscos ambientais para a saúde física e mental, bem como para a qualidade de vida e é responsável por uma carga expressiva de doenças na Europa [5].

A poluição sonora não pode ser tratada meramente como um problema de desconforto acústico. Os efeitos da exposição ao ruído não se restringem apenas à audição embora seja neste órgão que os efeitos podem ser mais notáveis. Os seus efeitos podem ainda interferir na qualidade de vida da população, como seja na qualidade do sono, na concentração e no desempenho laboral [6, 7]. Comumente os efeitos são classificados como ‘auditivos’ e ‘não-auditivos’ [8]. Os primeiros correspondem às lesões diretas no sistema auditivo humano. Enquanto, os efeitos ‘não-auditivos’ atingem as funções fisiológicas do organismo humano. A incomodidade tem sido reportada como o efeito ‘não-auditivo’ mais frequente da exposição ao ruído de baixa frequência nos seres humanos [9, 10, 11, 2]. No entanto, as poucas metodologias existentes para avaliação da incomodidade devida ao ruído de baixa frequência, aplicam o filtro de ponderação A e justificam o seu uso devido ao facto do sistema auditivo humano ser pouco sensível às baixas frequências [2]. No entanto, evidências científicas afirmam que os sons abaixo de 20 Hz podem ser audíveis pelos seres humanos [12, 13]. Por outro lado, na avaliação do ruído ambiental é adotado 50 Hz como limite mínimo de avaliação. Será o filtro de ponderação A o mais adequado para avaliar a incomodidade devida ao ruído de baixa frequência? A aplicação deste filtro conduz a uma redução significativa dos níveis sonoros emitidos contribuindo muitas vezes para que os valores resultantes permaneçam abaixo dos níveis considerados incomodativos, quando comparados com as curvas de referência adotadas por diversos países. Será o limite de 50 Hz o mais adequado na avaliação do ruído ambiental? A investigação realizada teve por objetivo avaliar os impactes da exposição ao ruído de baixa frequência em áreas residenciais, com a presença de postes e linhas de alta tensão, no sistema auditivo humano e apresentar uma metodologia de avaliação da incomodidade orientada exclusivamente para as baixas frequências.

## 1.1 | O ruído de baixa frequência e os seus impactes na saúde humana

Referências sobre o ruído e os seus efeitos na saúde humana são citados há mais de 2 500 anos. Por volta de 2000 a.C. o rei mitológico Cadmo utilizou o “ruído” produzido pelas pedras para desintegrar um exército [14]. No século VIII a.C., no poema épico da Grécia Antiga, Odisseia, de Homero, faz-se referência a protetores de ouvido rústicos, quando a personagem Ulisses ordena aos seus homens que tapem os ouvidos com cera, para não ouvirem o canto das sereias. Em 720 a.C., na aldeia de Síbaris, os artesãos forjadores de bronze foram fixados fora dos limites urbanos para evitar o incómodo devido ao ruído produzido.

Um dos primeiros registos escritos sobre o tema encontra-se na obra Ares, Água e Lugares, de Hipócrates, que acreditava que o ruído era um desequilíbrio ambiental e causador de determinadas doenças. Na Roma antiga, de 50 a 44 a.C., Júlio Cesar criou uma legislação específica para tratar do ruído associado às rodas de ferro dos vagões que perturbavam o sono da população, proibindo a circulação de veículos pesados movidos a tração animal nos pavimentos de pedra da cidade durante o período noturno [15]. No século I, Caius Plinius Secundus, Plínio, O Velho, em *Naturalis historia*, mencionou a perda de audição de pessoas que habitavam perto das cataratas do Rio Nilo. Entre 1588 e 1603, a Rainha Elizabeth I, ordenou a proibição dos maridos baterem nas suas esposas após as 10 horas

da noite, para não perturbar o sono dos vizinhos com os gritos. Em 1713, o médico Bernardino Ramazzini em *De Morbus Artificum* [16] observou uma perda auditiva induzida pelo ruído em artesãos forjadores de bronze em Veneza [17, 18, 19].

Apesar destes registos, apenas no final do século XIX, com o processo de industrialização, o ruído foi reconhecido como um problema de saúde pública, sendo a exposição contínua ao ruído considerada uma fonte de danos irreversíveis para a saúde. Até à década de 1930, acreditava-se que os efeitos do ruído sobre a saúde restringiam-se apenas à perda auditiva. No estudo publicado no *Journal of the Acoustical Society of America* [20], os autores concluíram que os efeitos do ruído sobre a saúde humana iam além da perda auditiva. A década de 1970 é marcada pelo surgimento de uma série de estudos que abordam o incómodo devido ao ruído ambiental [21, 22, 23, 24, 25, 26]. Os efeitos na saúde humana mais citados referem-se a alterações de ordem emocional, como seja a agitação e distração [27, 28, 29, 30], além da associação do ruído de baixa frequência a alterações cognitivas [31], ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares [32, 33], a perturbações no sono [34] e à hipertensão arterial [35]. No campo da medicina do trabalho há um número elevado de pesquisas que afirmam que o ruído de baixa frequência é um agente que interfere no desempenho de tarefas laborais [36, 37]. Para além destas alterações, o ruído pode ser um agente que afeta a saúde mental e física.

A nível internacional, há um grande volume de estudos acerca dos impactes na saúde devido à exposição ocupacional e ambiental ao ruído. No entanto, ainda são poucos os estudos orientados exclusivamente para os impactes na saúde e para a incomodidade devido ao ruído de baixa frequência. Um dos motivos principais é a baixa sensibilidade do sistema auditivo humano às baixas frequências. Por outro lado, este tipo de ruído apresenta características muito particulares e que provoca muito mais incomodidade e efeitos não-auditivos a longo prazo [26].

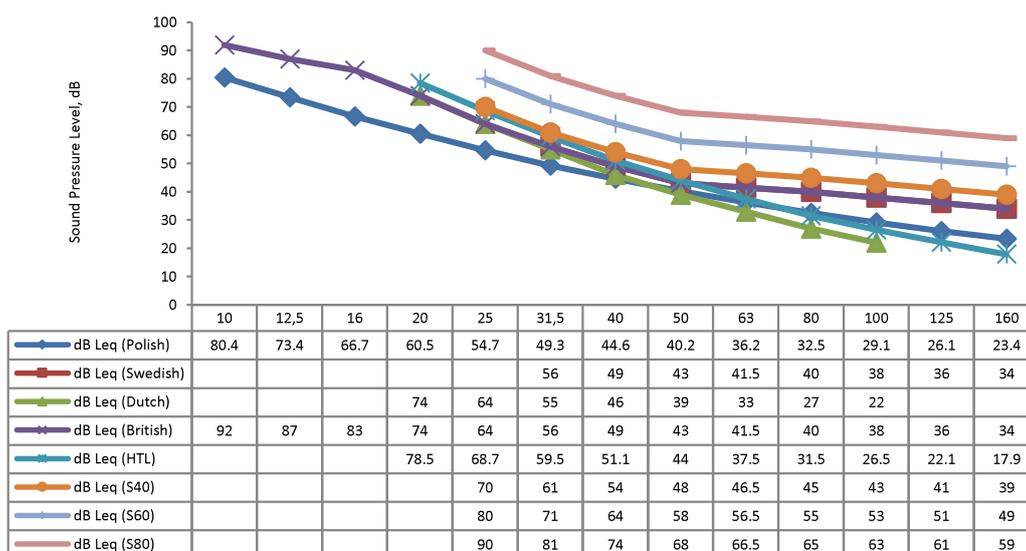
O sistema auditivo humano é capaz de distinguir variações de pressão a partir do valor mínimo de 20  $\mu\text{Pa}$  (limite inferior da audição) e é pouco sensível às baixas frequências, abaixo dos 20 Hz (faixa dos infra-sons) e às altas frequências, acima de 20 000 Hz (faixa dos ultra-sons) [26]. A audibilidade depende da frequência. Isto significa que o sistema auditivo de indivíduos jovens geralmente alcança o intervalo de 20 – 20 000 Hz e este valor entra em declínio com a idade. Frequências na faixa do ultra-som e do infrassom são consideradas inaudíveis por convenção [26, 38]. No entanto, há registos de que frequências até 30 kHz podem ser ouvidas por condução óssea. Por outro lado, os sons abaixo de 20 Hz (infra-sons) também são considerados por convenção como inaudíveis. No entanto, há evidências de que sons abaixo de 20 Hz podem ser audíveis pelos seres humanos [26, 8]. Berglund et al. [26], destacam a importância em considerar as muito baixas frequências no estudo da incomodidade do ruído. Argumentam que existem diferenças interindividuais no limiar de audição, ao longo do espectro de frequência, devido ao facto da deteção das ondas sonoras provocar reações subjetivas (e.g., aborrecimento, irritação e incomodidade), que pode contribuir para outros efeitos de ordem biológica e psicológica do sinal [29, 39]. Os autores defendem ainda que a definição arbitrária de um ponto de corte em 20 Hz não é adequado para a análise da incomodidade. Sugerem que a medição do ruído in loco que, geralmente, inclui energia sonora apreciável abaixo de 20 Hz, deve considerar um espectro mais alargado de frequências. Um estudo de 1976 [40], numa fábrica de caldeiras registou os níveis sonoros a 18 e 46 metros de distância em relação à fonte. Este mesmo estudo demonstrou que níveis sonoros registados para as bandas de frequência de 31Hz, 63Hz e 125 Hz não sofreram nenhuma perda detetável de energia a estas distâncias. Não obstante, no caso das altas frequências, e para a mesma distância, nas bandas de frequência de 2 kHz, 4kHz e 8 kHz, cada banda perdeu entre 6 dB a 7 dB [40, 26]. Nesse sentido, à medida que a frequência sonora é reduzida, maior será a energia que penetra no sistema auditivo e no corpo (e.g., nas cavidades torácicas, nos seios paranasais e na garganta) e nos objetos (e.g., habitações e obstáculos na área envolvente) [41, 26].

Berglund et al. [26], destacam que o sistema auditivo humano tem a capacidade de detetar o ruído de baixa frequência e os infra-sons. Por outro lado, estes mesmos autores observam que, embora a capacidade de detecção pelo sistema auditivo não seja consciente, isto não significa, necessariamente, que o ruído não conduza a impactes negativos na saúde humana. Os seres humanos são sensíveis à vibração abaixo de 0,5 Hz até pelo menos 100 kHz [42], embora a preocupação maior compreenda a região entre 0,5 Hz e 200 Hz, devido à maior parte da energia sonora de baixa frequência ser captada pelo sistema auditivo humano. Mesmo durante o sono, o sistema auditivo humano continua alerta ao som [26].

## 1.2 | Metodologias existentes para avaliação da incomodidade devida ao ruído de baixa frequência

A incomodidade tem sido reportada como o efeito mais frequente devido à exposição ao ruído de baixa frequência nos seres humanos [26, 36, 30]. Alguns estudos indicam que o filtro de ponderação A não é adequado para avaliar a incomodidade do ruído de baixa frequência [43, 36, 44, 8, 7]. Algumas orientações de controlo do ruído de baixa frequência, em áreas residenciais, adotadas em alguns países europeus, como a Alemanha e o Reino Unido [45, 46], baseiam-se na análise em 1/3 de oitava dos níveis de pressão sonora medidos e comparados com curvas de referência. No entanto, no caso de alguns métodos, são aplicadas correções, como o da ponderação com o filtro A. A aplicação deste filtro conduz a uma redução significativa dos níveis sonoros emitidos contribuindo, muitas vezes, para que os valores resultantes permaneçam abaixo dos níveis considerados incomodativos ou prejudiciais, quando comparados com as curvas de referência utilizadas em vários países (Figura 1).

Figura 1. Curvas de referência utilizadas para a avaliação da incomodidade devido à exposição ao ruído de baixa frequência [6, 7, 8]



Third octave band centre band, Hz

Por outro lado, observa-se que os métodos existentes se baseiam em parâmetros quantitativos para analisar a incomodidade devido ao ruído de baixa frequência, enquanto a incomodidade é essencialmente um parâmetro subjetivo, que pode variar de indivíduo para indivíduo. Os vários métodos existentes em alguns países e, nomeadamente em Portugal, consideram um intervalo de frequência limitado, e que, no geral, abarca o intervalo de frequência entre 25 Hz e 200 Hz. A atual legislação de ruído ambiente em Portugal, que enquadra a adoção da norma NP ISO 1996, estabelece, que o sonómetro deve ser configurado para a ponderação de frequência A, com tempo de integração em fast e bandas de frequência de um terço de oitava, com frequências centrais a variar entre 50 Hz e 10 000 Hz [38, 47].

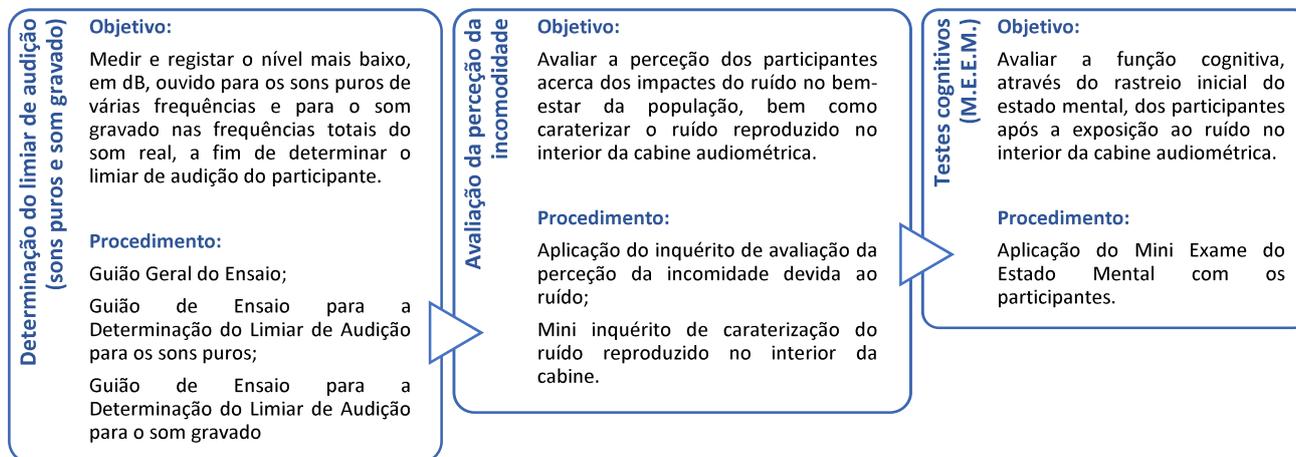
Atualmente, a investigação dos limiares de audibilidade para as altas frequências apresenta uma importância significativa para a clínica audiológica. No entanto, a investigação acerca dos limiares de audibilidade para as baixas frequências não é retratada na literatura científica restringindo-se a investigações de perda de audição para as altas frequências (com acometimento dos limiares auditivos em uma ou mais frequências). Apesar disso, os efeitos da exposição ao ruído não se restringem apenas à audição, embora seja neste órgão que os efeitos podem ser mais notáveis. Os seus efeitos podem ainda interferir na qualidade de vida da população, como seja na qualidade do sono, na concentração e no desempenho laboral [48, 6, 7, 8]. O limiar de audibilidade (threshold of hearing ou 0 dB S.P.L.) corresponde ao limiar próprio de cada indivíduo para cada frequência sonora, correspondendo à intensidade da mais reduzida oscilação sonora que consegue ser percebida pelo sistema auditivo humano [46, 7, 8].

### 1.3 | Metodologia

Adotou-se uma metodologia orientada para a avaliação da incomodidade devida ao ruído de baixa frequência, bem como, a realização de testes audiométricos conduzidos exclusivamente para as baixas frequências. Foram definidas duas áreas predominantemente urbanas no Noroeste de Portugal para testar a metodologia. Recorreu-se a um estudo do tipo “expostos” e “não-expostos”, o primeiro grupo com elevada presença da fonte em estudo e o segundo sem registo da passagem das linhas de alta tensão.

Cabe destacar que, na literatura internacional sobre o tema, não existe uma metodologia de avaliação audiométrica orientada para as baixas frequências e, devido a este aspeto, os protocolos desenvolvidos foram adaptados tendo por base a ISO 8253-1/2010. Os protocolos desenvolvidos para os testes audiométricos orientados para as baixas frequências foram compostos por três etapas: a determinação do limiar de audição, a avaliação da incomodidade e a realização de testes cognitivos. Estas etapas estão sintetizadas na Figura 2.

Figura 2. Síntese da metodologia desenvolvida para a avaliação da incomodidade devida ao ruído de baixa frequência



Para a determinação do limiar de audibilidade dos sons puros utilizou-se a reprodução do som puro por banda de frequência, entre 10Hz e 90 Hz, com variação na intensidade do sinal. O limiar de audibilidade também foi determinado para o som gravado composto a partir do som real, com variação na intensidade do sinal. Os participantes após estarem expostos à reprodução dos sons puros e aos sons gravados responderam a um pequeno inquérito composto por três perguntas.

A dimensão subjetiva e complementar à determinação do limiar de audibilidade foi composta pela aplicação de um sucinto inquérito de incomodidade (usando uma escala de Likert), bem como a realização de um teste cognitivo. Os testes foram realizados em cabine audiométrica, marca Optac – Aumec Horprufkabine e foram introduzidos dois estímulos acústicos, os sons puros (faixas de um CD de alta fidelidade da marca Nordost - System Set-Up & Tuning Disc) e os sons previamente gravados no local de exposição. O som foi reproduzido no interior da cabine através de auscultadores com boa resposta a baixas frequências do modelo e marca HE4OOS - Hifiman. Foram feitas adaptações nas ligações para permitir a passagem e controlo do sinal pelo audiómetro AD28 - Interacoustics. Os sons puros foram reproduzidos pelo Windows Media Player e o som gravado foi reproduzido pelo software dBTrait [49].

## 2 | DESCRIÇÃO

De acordo com a metodologia mencionada anteriormente, foram realizados testes audiométricos com 8 indivíduos pertencentes ao grupo dos “expostos” com idades entre os 24 e os 68 anos de idade, com perfil profissional distinto (estudantes, diversas ocupações na indústria têxtil e um assistente administrativo). No que corresponde ao grupo dos “não-expostos” foram realizados testes audiométricos com 6 indivíduos, com idades entre os 44 e os 60 anos de idade e com perfil profissional diferenciado (desempregados, motoristas e trabalhadores da construção civil).

No que diz respeito aos sons puros, quer para o grupo dos “expostos” quer para o grupo dos “não-expostos”, em todas as bandas de frequência o limiar de audição foi avaliado e apresentou intensidades sonoras distintas, variável de indivíduo para indivíduo (Figura 3, Figura 4 e Tabela 1).

Figura 3. Limiar de audição para os sons puros para o grupo dos ‘expostos’ (a) e dos ‘não-expostos’ (b)

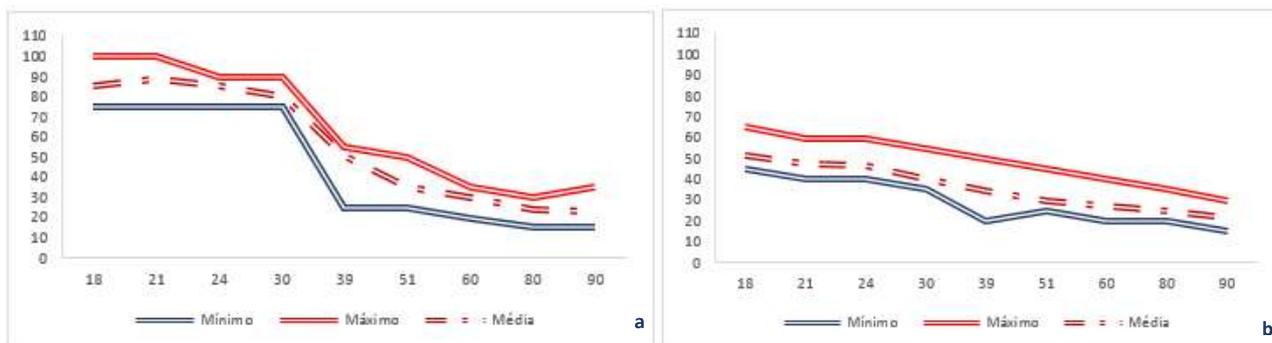
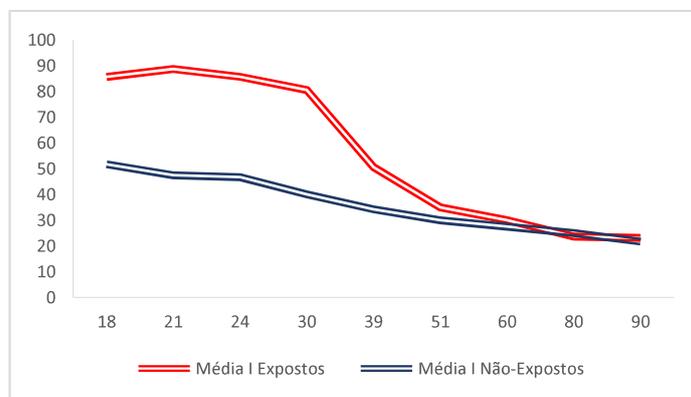


Tabela 1. Variação do limiar de audição para os sons puros para o grupo dos ‘expostos’ e dos ‘não-expostos’

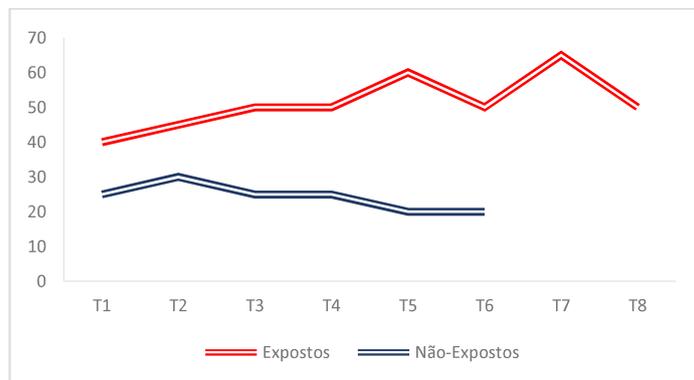
| Grupo        | Limiar de Audição (dB) | 18   | 21   | 24   | 30   | 39   | 51 | 60   | 80   | 90   |
|--------------|------------------------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|
| Expostos     | Mínimo                 | 75   | 75   | 75   | 75   | 25   | 25 | 20   | 15   | 15   |
|              | Máximo                 | 100  | 100  | 90   | 90   | 55   | 50 | 35   | 30   | 35   |
|              | Média                  | 85,6 | 88,7 | 85,6 | 80,6 | 50,6 | 35 | 30   | 23,7 | 23,1 |
| Não-Expostos | Mínimo                 | 45   | 40   | 40   | 35   | 20   | 25 | 20   | 20   | 15   |
|              | Máximo                 | 65   | 60   | 60   | 55   | 50   | 45 | 40   | 35   | 30   |
|              | Média                  | 51,7 | 47,5 | 46,7 | 40   | 34,2 | 30 | 27,5 | 25   | 21,7 |

Figura 4. Média do limiar de audição para os sons puros do grupo dos ‘expostos’ e dos ‘não-expostos’



As diferenças registadas para o limiar de audição para os sons puros e para o som gravado foram significativas, sendo registadas diferenças entre as médias do limiar de audição, para os sons puros, do grupo dos “expostos” e dos “não-expostos” foi de 33,9 dB para a frequência de 18 Hz; 41,2 dB para a frequência de 21 Hz; 38,9 dB para a frequência de 24 Hz; 40,6 dB para a frequência de 30 Hz; 16,4 dB para a frequência de 39 Hz; 5 dB para a frequência de 51 Hz; 2,5 dB para a frequência de 60 Hz; -1,3 dB para a frequência de 80 Hz; e de 1,4 dB para a frequência de 90 Hz. Para o som gravado, a diferença registada entre as médias corresponde a 27,2 dB (Figura 5).

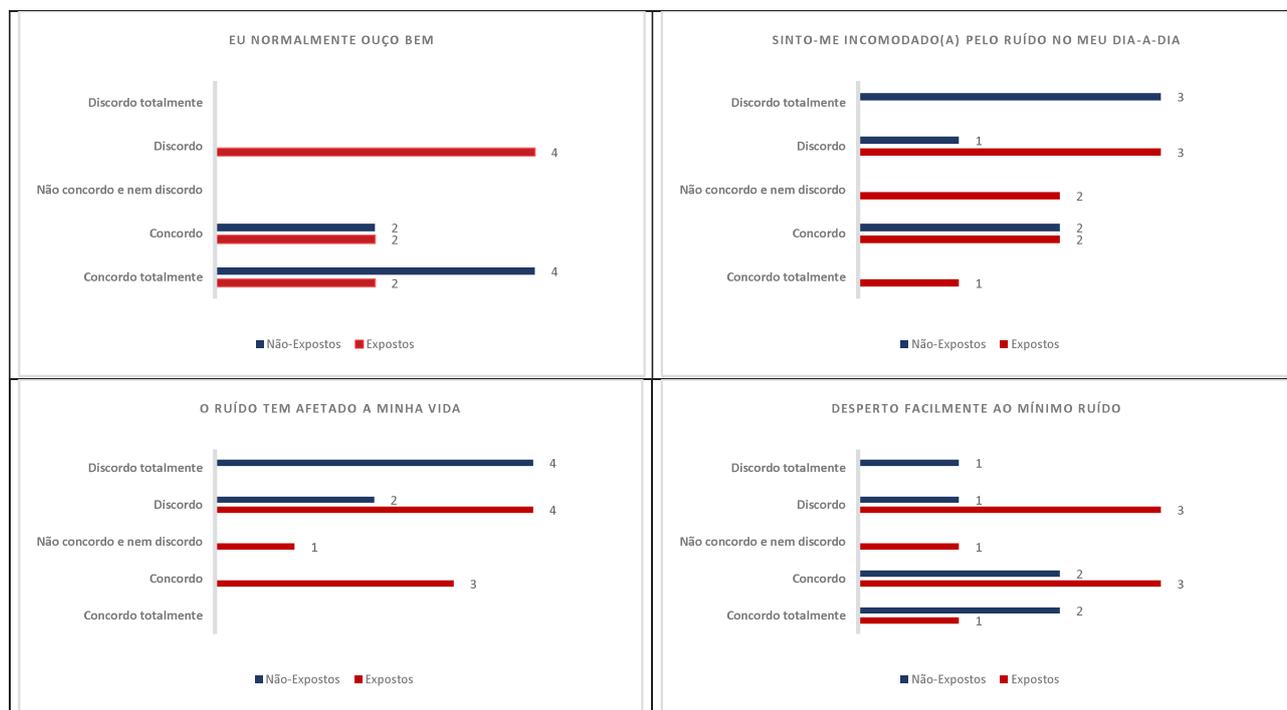
Figura 5. Limiar de audição para o som gravado para o grupo dos ‘expostos’ e dos ‘não-expostos’

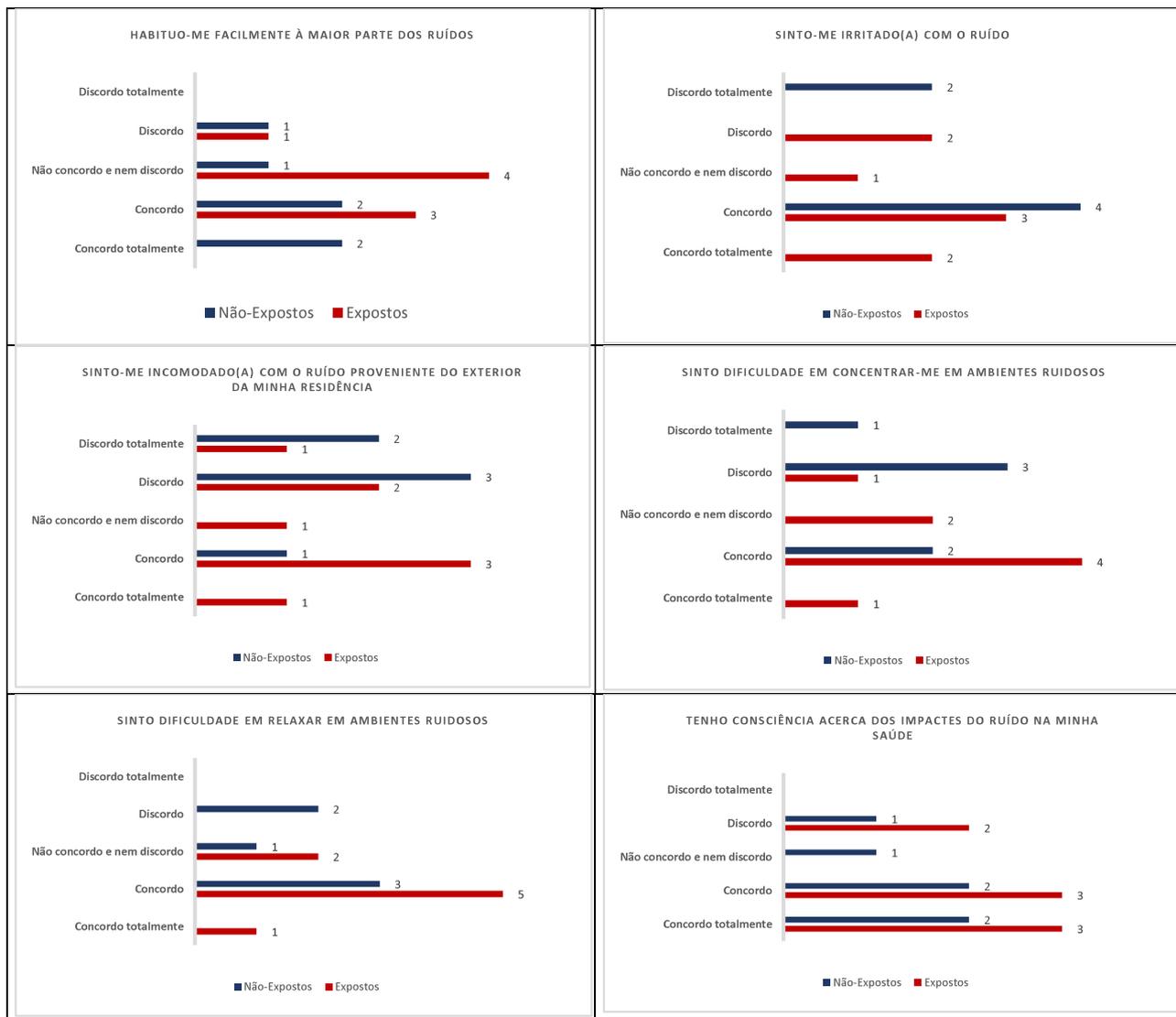


Estes dados revelam que o grupo dos “expostos” é pouco sensível às baixas frequências, e vem corroborar com os resultados ilustrados nas Figuras 3 e 4, que demonstram claramente a baixa sensibilidade que o grupo dos “expostos” apresenta, abaixo de 39 Hz, quando comparado com o grupo dos “não-expostos”.

A avaliação da percepção da incomodidade devida ao ruído foi avaliada a partir de 10 questões sendo usada uma escala de Likert, de cinco níveis, indo do “discordo totalmente” até ao “concordo totalmente” (Tabela 2).

Tabela 2. Avaliação da percepção da incomodidade devida ao ruído para o grupo dos ‘expostos’ e dos ‘não-expostos’





Algumas observações são válidas para avaliar a percepção da incomodidade devida ao ruído dos dois grupos em estudo: 1. A percepção da audição tende a ser mais positiva para o grupo dos “não-expostos” quando comparado com o grupo “exposto”; 2. A percepção acerca da incomodidade devida ao ruído no dia-a-dia foi semelhante para os dois grupos em estudo, i.e., a maior parte dos voluntários respondeu não sentir-se incomodado pelo ruído no seu dia-a-dia; 3. No que concerne à afirmação “sinto-me irritado(a) com o ruído”, em ambos os grupos, a maior parte dos voluntários concordaram com esta afirmação; 5. A respeito da afirmação “tenho consciência acerca dos impactes do ruído na minha saúde” em ambos os grupos, a maior parte dos inquiridos, “expostos” (n=6) e “não-expostos” (n=4), têm a consciência dos impactes do ruído na saúde”.

Os participantes após estarem expostos à reprodução dos sons gravados responderam a um mini inquérito composto por três perguntas (Tabela 3).

Tabela 3. Avaliação subjetiva do som gravado reproduzido dentro da cabine audiométrica



Após a exposição no interior da cabine foi realizado o Mini Exame do Estado Mental (M.E.E.M.) para avaliar o estado cognitivo do participante. O procedimento envolveu duas categorias de resposta: a verbal e a não-verbal. A primeira categoria mediu a orientação espaço-temporal, a memória imediata, a evocação e a memória de procedimento, a atenção e a linguagem. Por seu turno, a segunda categoria, a não-verbal, foi responsável por medir a coordenação perceptivo-motora e a compreensão de instruções.

Apenas um participante do grupo dos “expostos” alcançou 22 pontos, o que pode revelar um défice cognitivo. Um dos participantes atingiu 25 pontos, o que representa alteração não sugestiva de défice. Relativamente aos restantes participantes, três alcançaram 26 pontos e os outros 3 participantes atingiram 27 pontos, o que corresponde a uma função cognitiva preservada. O participante 5, que apresentou défice cognitivo, H.F.S.P. (com 68 anos, 4 anos de escolaridade e do sexo masculino), foi afinador têxtil durante 44 anos e encontra-se reformado há 14 anos. Embora o participante tenha revelado “concordo totalmente” na afirmação “eu normalmente ouço bem” e que o ruído tinha pouco impacte na sua qualidade de vida, o limiar auditivo do participante para os sons puros posicionou-se acima da média, em especial, para as baixas frequências. Para o som gravado, o limiar auditivo deste participante foi de 60 dB. Relativamente ao grupo dos “não-expostos”, o participante número 2, C.S.S.C. (com 44 anos, 2 anos de escolaridade e do sexo masculino) alcançou 17 pontos, o que revela défice cognitivo. Este participante foi empregado da construção civil por 5 anos e encontra-se desempregado há 10 anos. O limiar auditivo deste participante foi de 30 dB.

### 3 | CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida mostrou-se adequada à finalidade pretendida, uma vez que avaliou a percepção do ruído de baixa frequência e mostrou a necessidade de ampliar o intervalo mínimo de frequência para avaliar o impacto desse tipo de ruído na população.

A distância entre o medidor de nível de som e a fonte pode interferir no grau de desconforto. Para os resultados apresentados, para o som real, 5 metros de distância projetada foram medidos horizontalmente entre o recetor e a fonte. O limiar auditivo médio para o som gravado foi de 51,3 dB para o grupo "exposto" e de 24,1 dB para o grupo "não exposto". Para ambos os grupos, a exposição ao som gravado dentro da cabine audiométrica gerou desconforto (no caso do grupo "exposto", 1 participante referiu ter "dor de cabeça", 3 "irritou", 1 sentiu "medo" e 3 sentiu "sonolência", enquanto no grupo "não exposto", 4 participantes "não se incomodaram", 1 ficou "irritado" e 1 participante sentiu "sonolência").

A realização dos testes audiométricos contribuíram para avaliar a incomodidade devida ao ruído recolhido in loco e também para demonstrar que os sons puros de baixa frequência foram audíveis para níveis sonoros acima dos apresentados na Tabela 1, por faixa de frequência.

Os valores registrados foram percebidos como desconfortáveis pelos voluntários. Isso mostra a fragilidade dos métodos existentes para avaliar o desconforto no ruído, que geralmente são baseados em parâmetros objetivos. Além disso, os resultados obtidos nos testes audiométricos mostram que a população de Serzedelo ("exposta") pode ter adquirido uma "defesa psicológica". Quando conviviam diariamente com este tipo de ruído (apesar de o classificar como irritante) impedia-os de perceber/ouvir o ruído com a mesma intensidade que a população de Abação (São Tomé, "não-expostos"). Os resultados obtidos nos testes de audição para os sons puros realizados com a população do exposto e do não exposto corroboram essa afirmação.

### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à CAPES / Brasil (Processo: BEX1684-13/2). Ao Projeto Lab2PT - Paisagens, Património e Território - AUR / 04509 e FCT através de fundos nacionais e, quando aplicável, do cofinanciamento do FEDER, no novo acordo de parceria PT2020 e COMPETE2020 - POCI 01 0145 FEDER 007528. Ao Centro de Território, Ambiente e Construção (CTAC) pelo apoio financeiro concedido para adquirir um equipamento essencial para a investigação. Ao Dr. Pedro Arezes (Laboratório de Ergonomia / Universidade do Minho) pela orientação dedicada e o apoio técnico nos testes audiométricos adaptados, à Filipa Manuela Neto Paiva (Aluna da Faculdade de Engenharia / Universidade do Minho), bem como a Junta de Freguesia de Serzedelo e a Junta de Freguesia de Abação e Gémeos pelo apoio à aplicação dos inquéritos e de voluntários para os testes audiométricos.

### Referências

[1] WHO Regional Office for Europe, JRC (2011). Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

- [2] Blanes, N.; Fons, J.; Houthuijs, D.; Swart, W.; de la Maza, M. Z.; Ramos, M. J.; Castell, N.; van Kempen, E., 2017. "Noise in Europe 2017: Updated Assessment". European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC/ACM); Bilthoven, The Netherlands.
- [3] Eurostat, 2019. "Population living in households considering that they suffer from noise, by country (% population)". Code: sgd\_11\_20.
- [4] EEA (2014). Noise in Europe 2014. EEA Report nº. 10/2014. Agência Europeia do Ambiente, Copenhagen.
- [5] WHO (2018). Environmental Noise Guidelines for the European Region. World Health Organization, Copenhagen.
- [6] Alves, J. A.; Silva, L. T.; Remoaldo, P. C. (2015). The influence of Low-frequency noise pollution on the quality of life and place in sustainable cities: a case study from Northern Portugal. *Sustainability* (7): 13920-13946.
- [7] Alves, J. A.; Silva, L. T.; Remoaldo, P. (2019). The impacts of exposure to low frequencies in the human auditory system – a methodological proposal. In: Ray, K.; Sharan, S.; Rawat, S.; Jain, S.; Srivastava, S.; Bandyopadhyay, A. (eds) *Engineering Vibration, Communication and Information Processing. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 478. Springer, Singapore.
- [8] Alves, J.; Silva, L. T.; Remoaldo, P., 2018. "Impacts of Low Frequency Noise Exposure on Well-Being: A Case-Study from Portugal", *Noise & Health*, 20: 131-145.
- [9] Wayne, K. P., 1995. "On effects of environmental low frequency noise". Dissertation thesis. Gothenburg University.
- [10] Berglund, B.; Hassmén, P.; Job, R. F., 1996. "Sources and effects of low-frequency noise", *Journal of the Acoustical Society of America*, 5: 2985-3002.
- [11] Pawlaczyk-Łuszczynska, M.; Szymczak, W.; Dudarewicz, A.; Śliwińska-Kowalska, M., 2006. "Proposed criteria for assessing low frequency noise annoyance in occupational settings", *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 19, 3: 185–197.
- [12] Berglund, B.; Hassmén, P.; Job, R. F., 1996. "Sources and effects of low-frequency noise", *Journal of the Acoustical Society of America*, 5: 2985-3002.
- [13] Alves, J. A.; Silva, L. T.; Remoaldo, P. (2018). Impacts of low frequency noise exposure on well-being: a case-study from Portugal. *Noise & Health*, 20: 131-145.
- [14] Melo Pimenta, E. D (1995). Natureza, artefactos e percepção sensorial. Third Interdisciplinary Symmetry Congress and Exhibition of the International Society for the Interdisciplinary Study of Symmetry Washington DC, United States.
- [15] World Health Organization (1980). Environmental Health Criteria 12. Disponível em:<<http://apps.who.int/iris/handle/10665/39458>>.

- [16] Ramazzini, B. (1964). Diseases of workers. (Wilmer Cave Wright, Trans.).New York: Hafner Publishing. (Original work published 1713).
- [17] Rosen, G. (1974). A Backward Glance at Noise Pollution. American Journal of Public Health, May 64(5): 514-517.
- [18] Keizer, G. (2010). The unwanted sound of everything we want: a book about noise. New York: PublicAffairs, 386p.
- [19] Rabinowitz, P. M. (2012). The Public Health Significance of Noise-Induced Hearing Loss. In: Prell, C.; Henderson, D.; Fay, R.; Popper, A. (Ed.). Noise-Induced Hearing Loss: scientific advances. New York: Springer New York. 40: 13-25 (chapter book).
- [20] Obata, J.; Morita, S.; Hirose, K-I.; Matsumoto, H. (1934). The effects of noise upon human efficiency. Journal of the Acoustical Society of America. 5: 255-261.
- [21] Schultz, T. J. (1978). Synthesis of social surveys on noise annoyance. Journal Acoust Soc Am, 64(2): 377-405.
- [22] Hall, J. W.; Haggard, M. P.; Fernandes, M. A. (1984). Detection in noise by spectro-temporal pattern analysis. Journal Acoustic Society American, 76: 50-56.
- [23] Fidell, S.; Green, D. M. (1991). Noise induced annoyance of individuals and communities. Handbook of acoustical measurements and noise control.
- [24] Bradley, J. S. (1994). Annoyance caused by constant amplitude and amplitude modulated sounds containing rumble. Noise Control Eng 42, 203-208.
- [25] Paulsen, R.; Kastka, J. (1995). Effects of combined noise and vibration on annoyance. Journal of Sound and Vibration, 181(2): 295-314.
- [26] Berglund, B.; Hassmén, P.; Job, R. F. (1996). Sources and effects of low-frequency noise, J. Acoust. Soc. Am, 99(5): 2985-3002.
- [27] Karpova N. I.; Alekseev S. V.; Erokhin V. N.; Kadyskina E. N.; Reutov O. V. (1970) Early response of the organism to low-frequency acoustical oscillations. Noise and Vibration Bulletin 11 (65): 100-103.
- [28] Brown, J. E.; Thompson, R. N.; Folk, E. D. (1975). Certain non- auditory physiological responses to noise. Am Ind Hyg Assoc J 36: 285-291.
- [29] Job, R. (1993). The role of psychological factors in community reaction to noise. In Noise as a Public Health Problem, 3: 47-79. Vallet, M. (ed.) INRETS: Arcueil Cedex, France.
- [30] Pawlaczyk-Łuszczczyńska. M.; Dudarewicz, A.; Szymczak, W.; Sliwiska-Kowalska, M. (2005). The impact of low frequency noise on human mental performance. International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 2: 185-198.

- [31] Miedema, H. M.; Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *Journal Acoustical Society American*, 104(6): 3432-3445.
- [32] Babisch, W. (2000). Traffic noise and cardiovascular disease: epidemiological review and synthesis. *Noise & Health*, 2(8): 9-32.
- [33] Passchier-Vermeer, W.; Passchier, W. F. (2000) Noise exposure and public health. *Environmental Health Perspectives*, 108(1): 123-131.
- [34] Ising, H.; Kruppa, B. (2004). Health effects caused by noise: evidence in the literature from the past 25 years. *Noise & Health*, 6(22): 5-13.
- [35] Bluhm, G.; Berglind, N.; Nordling, E.; Rosenlund, M. (2007). Road traffic noise and hypertension. *Occup Environmental Medicine*, 64: 122-126.
- [36] Waye, K. P.; Rylander, R.; Benton, S.; Leventhall, H. (1997). Effects on performance and work quality due to low frequency ventilation noise. *Journal of Sound and Vibration*, 205(4): 467-474.
- [37] Waye, K. P.; Bengtsson, J.; Kjellberg, A.; Benton, S. (2001). Low frequency noise “pollution” interferes with performance. *Noise & Health*, 4(3): 33-49.
- [38] Silva, L. T. (2007). Avaliação da qualidade ambiental urbana. Universidade do Minho (Tese de Doutoramento em Engenharia Civil).
- [39] Stansfeld, S.; Crombie, R. (2011). Cardiovascular effects of environmental noise: research in the United Kingdom. *Noise & Health*, 13(52): 229-233.
- [40] Bryan, M. E. (1976). Low frequency noise annoyance, Infrasound and Low Frequency Vibration, edited by (W. Tempest Academic, London), 65–96.
- [41] Von Gierke, H. E.; Parker, D. E. (1976). Infrasound. In *The Hand- book of Sensory Physiology*, edited by W. D. Keidel and W. D. Neff Springer-Verlag, Berlin, Vol. V/3, 585–624p.
- [42] Rao, B. K. N.; Ashley, C. (1976). Subjective effects of vibration, Infrasound and Low Frequency Vibration, edited by W. Tempest (Academic, London), pp. 187–234.
- [43] Kjellberg, A.; Goldstein, M. (1985). Loudness assessment of band noise of varying bandwidth and spectral shape. An evaluation of various frequency weighting networks. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*, 4: 12-26.
- [44] Leventhall, G. (2004). Low frequency noise and annoyance. *Noise & Health*, 6: 59–72.
- [45] DIN: 45680. (1997). Measurement and evaluation of low frequency environmental noise.
- [46] Moorhouse, A.; Waddington, D.; Adams, M. (2011). Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance (NANR45). University of Salford, Manchester: DEFRA.

- [47] Agência Portuguesa do Ambiente (A.P.A.) (2011). Directrizes para elaboração de mapas de ruído. Portugal: A.P.A.
- [48] Arezes, P. M. (2002). Percepção do risco de exposição ocupacional ao ruído. Escola de Engenharia da Universidade do Minho (Tese de doutoramento).
- [49] DOC: 1081 (2013). Dbtrait Software User Manual. ACOEM: DOC1081 December.