

FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Modelos psicofísicos aplicados na detecção de sinais impulsivos em refrigeradores domésticos

Silveira, H. A.¹; Vergara, E. F. M.²; Lenzi, A.³

¹ Laboratório de Vibrações e Acústica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, henrique.alende@posgrad.ufsc.br

² Laboratório de Vibrações e Acústica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, e.f.vergara@ufsc.br

³ Laboratório de Vibrações e Acústica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, arcanjo.lenzi@ufsc.br

Resumo

Fabricantes e desenvolvedores têm demonstrado crescente interesse na emissão de ruídos sonoros de produtos, principalmente em termos de qualidade sonora, que explora não somente a energia sonora irradiada pelo produto, como fornece diretrizes para prever o incômodo do consumidor causado por diferentes tipos de ruído. Nesse cenário, destacam-se ruídos transientes impulsivos em refrigeradores, que possuem elevada energia sonora distribuída em um pequeno intervalo de tempo. Este trabalho teve como objetivo analisar a detecção de sinais impulsivos de refrigeradores utilizando diferentes métodos psicofísicos. Para isso, foi utilizada uma amostra composta de 379 pessoas, e a detecção ocorreu por meio da diferença do limiar observável (DLO) para a intensidade dos sinais impulsivos e a intensidade de sinais estacionários, utilizados como sinais mascaradores. A DLO foi estimada por dois modelos psicofísicos: o Método de Escada (*Up-Down Staircase* (SC)) e o Método de Estimativa por Rastreamento Sequencial (*Parameter Estimation by Sequential Testing* (PEST)). Assim, foi possível comparar as proeminências de amplitude dos sinais impulsivos obtidos pelos métodos e entre as diferentes configurações. Os resultados mostraram que os indivíduos são mais sensíveis a sinais com frequências mais altas, apresentando DLO menor para todos os modelos. Além disso, o método PEST, que apresenta incremento variável, foi o mais intuitivo para os sujeitos, pois houve menor ocorrência de *outliers* e dispersão de dados.

Palavras-chave: sinais impulsivos; métodos psicofísicos; diferença do limiar observável.

PACS: 43.66.-x, 43.66.Ba, 43.50.Pn, 43.58.Gn.

Psychophysical models applied to the detection of impulsive signals in domestic refrigerators

Abstract

Manufacturers and developers have shown growing interest in the emission of sound noise from products, mainly in terms of sound quality, which explores not only the sound energy radiated by the product, but also provides guidelines to predict consumer annoyance caused by different types of noise. In this scenario, impulsive transient noises in refrigerators stand out, which have high sound energy distributed in a small time interval. This work aimed to analyze the detection of impulsive signals from refrigerators using different psychophysical methods. For this, a sample composed of 379 people was used, and the detection occurred through the just-noticeable difference (JND) for the intensity of impulsive signals and the intensity of stationary signals, used as masking signals. The JND was estimated by two psychophysical models: Up-Down Staircase Method (SC) and Parameter Estimation by Sequential Testing (PEST). Thus, it was possible to compare the amplitude prominences of the impulsive signals obtained by the methods and between the different configurations. The results showed that individuals are more sensitive to signals with higher frequencies, presenting lower JND for all models. In addition, the PEST method, which has a variable increment, was the most intuitive for the subjects, as there was a lower occurrence of outliers and data dispersion.

Keywords: impulsive signals, psychophysical methods, just-noticeable difference.



1. INTRODUÇÃO

A audição humana é particularmente sensível a sinais transientes, em especial sinais acústicos que apresentam características impulsivas [1]. Entretanto, existem pouquíssimas métricas psicoacústicas específicas para analisar e quantificar sinais impulsivos, menos ainda sinais impulsivos de refrigeradores [2]. Para o desenvolvimento de uma métrica psicoacústica é necessário, primeiramente, obter informações a respeito da relação entre a intensidade do estímulo e a resposta ao estímulo para o evento sonoro de interesse [3]. De forma geral, uma boa maneira de obter esta relação é a partir da determinação das DLO's (Diferença no Limiar do Observável), seja para variações em frequência ou em amplitude [4].

Por via de regra, em testes psicofísicos, em especial, testes cujo objetivo é a determinação de DLO deve se ter atenção especial a respeito da instrumentação e do ambiente de reprodução [5]. Um ambiente controlado, com baixo ruído de fundo, e um sistema de reprodução calibrado, que apresente baixa distorção e resposta plana em frequência, são elementos fundamentais para a obtenção de bons resultados [6]. Ademais, quando se trata de sinais impulsivos os cuidados tendem a ser maiores, por se tratar de eventos sonoros de curta duração e de alta amplitude [7]. Porém, no cenário atual, testes presenciais tornaram-se momentaneamente impraticáveis devido à pandemia de COVID-19, sendo a forma remota o único meio possível para a realização destes testes.

Uma das formas mais comuns de se obter DLO para variações de amplitude é a apresentar ao júri vários níveis de estímulo do evento sonoro, e assim determinar o percentual de detecção a partir de uma função psicométrica derivada [3, 8]. No entanto, embora seja possível obter bons resultados, os testes tendem a ser demorados e repetitivos, sendo impraticáveis na maioria dos casos, ainda mais em um cenário remoto. Uma boa alternativa para contornar esse problema é a aplicação de métodos adaptativos, em que cada estímulo é modificado de acordo com o histórico de respostas de detecção para cada sujeito [9]. Portanto, são metodologias muito eficientes e com baixos custos computacionais, pois convergem com um número menor de tentativas [10]. O teste ou a sessão chega ao fim quando o nível do estímulo

se aproxima do limiar desejado na pesquisa.

Nesse estudo foram avaliadas duas metodologias distintas para obtenção de DLO de variação de amplitude de sinais impulsivos, o Método de Escada (*Up-Down Staircase Method* (SC)), e o Método de Estimativa por Rastreamento Sequencial (*Parameter Estimation by Sequential Testing* (PEST)). Apesar de serem metodologias adaptativas, cada uma apresenta sua própria regra para a variação do incremento do nível do estímulo.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Nesta seção são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para a gravação e processamento dos sinais sonoros utilizados no teste de júri, além do desenvolvimento da plataforma remota utilizada para execução dos testes.

2.1 Sinais, Gravações e Processamento

O objeto de estudo foi um refrigerador doméstico operando em regime estacionário, e para aquisição fez-se uso de uma cabeça artificial da marca *Head Acoustics*, modelo HMSIII. A cabeça artificial foi disposta no interior de uma câmara semi-anecóica e posicionada a 1,65 m do chão e a 2,0 m de distância do refrigerador, conforme mostra a Figura 1.

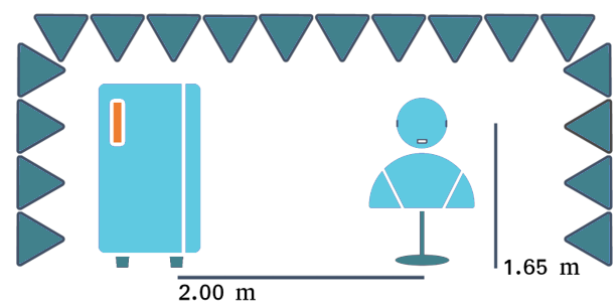


Figura 1: Configuração de medição utilizada para a gravação dos sinais sonoros do refrigerador.

Os sinais adquiridos foram filtrados e subsequentemente divididos em duas categorias: Sinais de Referência (SR) e Sinal Mascaramento (SM). O critério adotado para cada categorização foi a presença de eventos sonoros transientes na gravação. Sinais que apresentavam eventos impulsivos pertenciam a categoria de SR, enquanto sinais que apresentavam somente o ruído estacionário de funcionamento do compressor pertenciam a categoria de SM.

Os áudios obtidos por meio da gravação possuíam duração de 3 segundos. Entretanto, a duração dos eventos impulsivos, presentes nos sinais de referência, era de aproximadamente 135 milissegundos. Após a aquisição, os sinais de referência foram filtrados individualmente por meio filtros de segunda ordem (passa-banda) sintonizados nas frequências de 500 Hz, 1.000 Hz e 3.000 Hz, equivalentes a quinta, nona e décima sexta banda crítica, respectivamente, conforme mostra a Figura 2.

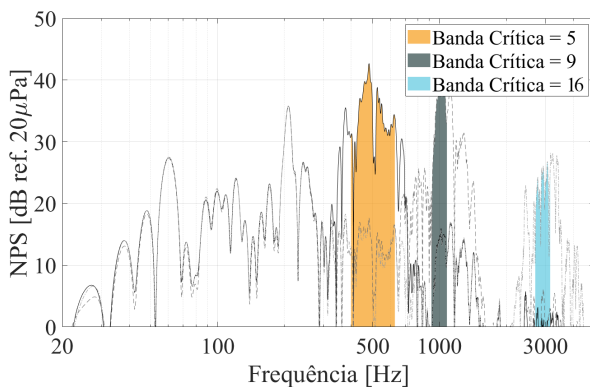


Figura 2: Sinais de referência utilizados nos testes psicométricos. Conteúdo espectral do sinal impulsivo filtrado nas bandas centrais de 500 Hz, 1.000 Hz e 3.000 Hz.

Por fim, foi aplicado preenchimento de zeros (*zero padding*) nos intervalos que precedem e sucedem o evento impulsivo. Dessa forma, a partir de um evento impulsivo, foi possível obter três sinais de referência sintonizados em frequências diferentes, conforme mostra a Figura 4.

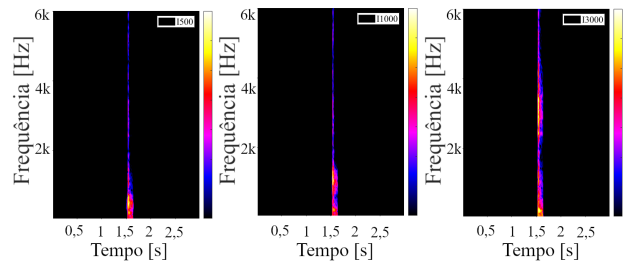


Figura 4: Espectrogramas dos sinais de referência após a aplicação de preenchimento de zeros.

Assim como os sinais de referência, o sinal mascarador foi gravado igualmente por 3 segundos, porém foi considerado somente o ruído estacionário de funcionamento do compressor. A composição entre um sinal de referência e o sinal do compressor representava uma sessão nos testes de júri. O resumo de todo o processamento aplicado aos sinais de referência é mostrado na Figura 3.

2.2 Testes Remotos

Os testes remotos foram propostos como uma maneira de realizar testes psicofísicos em meio ao agravo da pandemia de COVID-19. Sendo portanto, um dos grandes desafios deste trabalho obter, de forma precisa, a DLO remotamente e de forma assíncrona. Nessa situação o pesquisador não possui nenhum controle sob a condução do teste, sendo impossível de ser informado se o usuário entendeu corretamente as instruções passadas pela plataforma. Por outro lado, existem muitas vantagens da utilização de uma plataforma remota, como por exemplo a praticidade na aplicação dos testes, a ampliação do espaço amostral e a diversificação da amostra, que pode superar restrições geográficas, permitindo que os indiví-

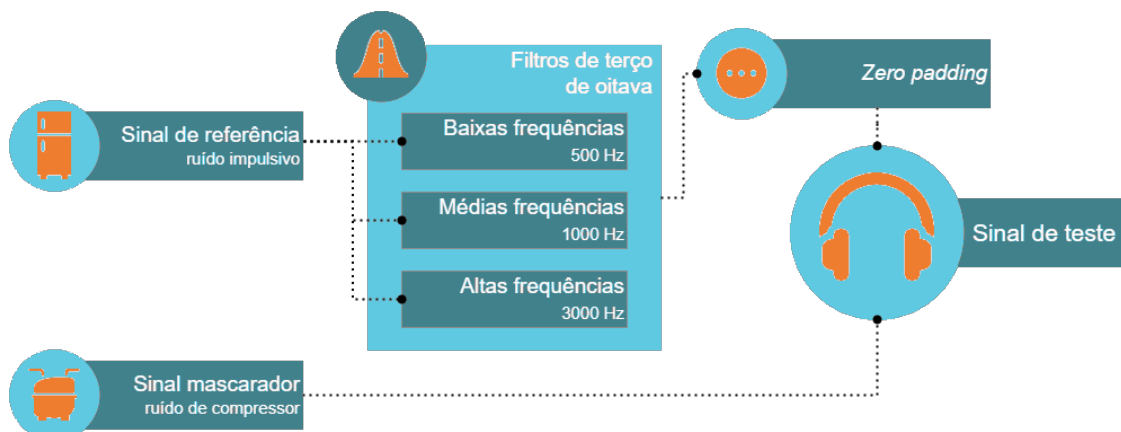


Figura 3: Processamento adotado para obtenção dos sinais de referências sintonizados em diferentes frequências centrais.



duos participem de pesquisas no conforto de suas próprias casas [11].

2.3 Elaboração da plataforma remota

O desenvolvimento de uma plataforma remota foi realizado por meio de implementação de um ambiente web. O site foi estruturado utilizando *Hypertext Markup Language* (HTML) e *Cascading Style Sheets* (CSS) como linguagens de programação. O controle da interface foi feito utilizando *JavaScript* (JS), sendo responsável por várias etapas importantes do teste, como por exemplo, a convergência das respostas de cada usuário e o processamento dos sinais impulsivos. Por fim, o fluxo de dados foi feito utilizando *Hypertext Preprocessor* (PHP) como linguagem de conexão ao servidor.

A estrutura do site foi desenvolvida de forma sequencial, onde cada área representava uma funcionalidade, conforme mostra a Figura 5. Assim, foi possível guiar o usuário de forma mais intuitiva nas áreas presentes na plataforma: *Landing page*, área de cadastramento, instruções gerais, seleção do teste, área do teste e *feedback*.



Figura 5: Estrutura da plataforma remota utilizada para execução dos testes psicométricos.

Nas áreas que precediam as áreas de teste, algumas instruções eram passadas aos sujeitos. Estas eram divididas em dois grupos: instruções para realização do teste e instruções sobre a interface e funcionalidades dos botões. Para a realização do teste, as instruções guiavam o usuário a se direcionar a um ambiente silencioso, utilizar fones de ouvidos e evitar interrupções uma vez iniciado o teste. Já as instruções de interface direcionavam o usuário na condução do teste, indicando o tempo de duração de cada metodologia, apresentando os sinais de referência e sobre a funcionalidade de cada botão presente na interface.

2.4 Ferramenta de avaliação subjetiva

A ordem de apresentação dos sinais referência era atribuída de forma aleatória para cada usuário, e a reprodução ocorria simultaneamente com o sinal mascarador, o que compunha uma sessão no teste. A amplitude inicial do sinal de referência também era atribuída de forma aleatória para cada usuário. As mudanças incrementais do nível do estímulo do sinal de referência ocorriam de acordo com dois fatores: a metodologia do teste que usuário estivesse fazendo, e a resposta à pergunta "Você ouviu o sinal de referência?". A Figura 6 mostra a interface utilizada para área do teste.

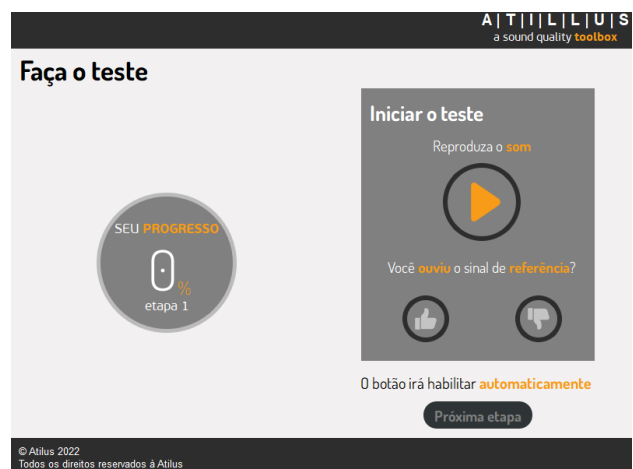


Figura 6: Interface de aplicação do teste.

Para respostas positivas, a amplitude do sinal era atenuada, por outro lado, para respostas negativas, a amplitude do sinal de referência era amplificada. Para ambas respostas a amplitude do sinal mascarador era mantida constante. Já o critério de convergência adotado estava associado ao histórico de amplitude do usuário para cada sessão, e era determinante para o encerramento da sessão ou teste. Para que encerramento acontecesse, a média do histórico de amplitude deveria ser menor que a diferença entre os dois últimos valores de amplitude registrados [12]. O teste, em média, possuía um tempo de execução de aproximadamente 10 minutos para cada metodologia aplicada, de modo que para cada sessão, os sujeitos levavam em média 3 minutos para a conclusão.

Quanto ao tamanho do incremento, responsável pela amplificação e atenuação do sinal de referência, tinha direta relação com o método escolhido pelo o usuário, feita antes do ingresso na área de teste. De modo que cada metodologia apresenta

determinadas regras de acordo com as respostas do usuário.

2.4.1 Método de Escada

O Método de Escada (*Up-Down Staircase* (SC)) é um dos métodos adaptativos mais conhecidos e utilizados em testes psicofísicos [13]. Desenvolvido por Cornsweet [9], este método, geralmente, parte de uma série descendente. Ao chegar ao ponto de inversão¹, não há interrupções da série, e sim uma inversão da direção do incremento do estímulo [9]. Portanto, é necessário definir, primeiramente, a quantidade de pontos de inversão como critério de finalização do teste. Para esse teste, foram considerados ao menos 4 pontos de inversão na fase final do procedimento².

2.4.2 Método de Estimativa por Rastreamento Sequencial

O Método de Estimativa por Rastreamento Sequencial (*Parameter Estimation by Sequential Testing* (PEST)), desenvolvido por Taylor e Creelman [14], na verdade é um conjunto de regras heurísticas para a determinação do próximo incremento, com base no histórico sequencial da resposta do usuário [4]. As regras heurísticas são utilizadas para determinação do número mínimo de respostas necessárias para que converta a um determinado nível de estímulo, as regras são:

- Em cada ponto de inversão, o próximo incremento terá a metade do valor anterior.
- Em uma mesma direção, a segunda resposta terá o mesmo incremento da primeira.
- A terceira resposta terá o dobro do incremento da segunda se o tamanho do incremento imediatamente antes do último ponto de inversão resultar de uma duplicação, ou o mesmo caso contrário.
- A partir da quarta resposta em uma mesma direção o incremento passa ser o dobro dos incrementos anteriores.

As regras visam a minimização das respostas errôneas e do número de tentativas para que o usuário atinja mais rapidamente o critério de convergência. Portanto, as regras aceleram a identificação

da região da DLO.

2.5 Participantes

A amostra de participantes foi composta por homens e mulheres com idade entre 13 e 64 anos. Por se tratar de testes independentes (métodos SC e PEST), a amostra total foi dividida em dois espaços amostrais. Uma das grandes vantagens de um teste remoto é a capacidade de atingir um número bastante elevado de usuários, tornando o espaço amostral, na maioria dos casos, significativamente maior comparados a testes presenciais. De modo que amostra totalizou 247 e 189 pessoas, respectivamente para os dois métodos PEST e SC. Foi significativa também o número de *outliers* obtidos, totalizando 57 pessoas para método PEST (representando 23,08% da amostra) e 83 pessoas para método SC (representando 43,92% da amostra). A amostra geral, ainda foi dividida em leigos e especialistas por meio de uma pergunta dicotômica "Você possui conhecimento em Acústica?". Os dados gerais da amostra para ambos métodos são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização da amostra de acordo com variáveis sociodemográficas.

Variável Sociodemográfica	Tamanho da Amostra (%)	
Sexo	SC	PEST
Homens	63 (59,43)	136 (71,48)
Mulheres	43 (40,57)	54 (28,42)
Idade	ME	PEST
10-20	8 (7,55)	15 (7,90)
20-30	65 (61,32)	95 (50,00)
30-40	21 (19,81)	47 (24,74)
40-50	8 (7,55)	21 (11,05)
50-60	2 (1,89)	8 (4,21)
60-70	2 (1,89)	3 (1,58)
Conhecimento em acústica	ME	PEST
Leigos	70 (66,04)	133 (70,00)
Especialistas	36 (33,96)	57 (30,00)

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos por meio dos testes remotos foram utilizados para analisar a DLO para variação de amplitude, usando como objeto de estudo sinais os impulsivos gravados de um refrigerador. O valor considerado para cada DLO é resultado da diferença entre: a média da amplitude do sinal de referência (A_{SR}) das duas ultimas tentativas para cada para cada sessão de usuário, e a amplitude do sinal mascarador (A_{SM}). A diferença é anali-

¹O ponto de inversão é marcado pela mudança da resposta do usuário ao estímulo.

²Para esse teste, a fase final foi considerada a partir 5ª tentativa do usuário.



sada de forma pontual na frequência central do filtro de interesse, conforme mostra a Equação 1.

$$DLO_n = \frac{|A_{SR}(n, m) - A_{SR}(n, (m-1))|}{2} - A_{SM}(n), \quad (1)$$

onde n representa a frequência central do filtro passa-faixa e m é o número de tentativas consideradas em cada sessão de usuário.

Os dados são referentes aos testes conduzidos entre março e maio de 2021. Os valores analisados de forma global, mostrados na Figura 7, apontam que independente do método, os valores obtidos de DLO dependem da frequência central do filtro passa-faixa. Sinais impulsivos com energia concentrada em baixas frequências apresentaram maiores limiares, quando comparados a sinais impulsivos com frequências mais altas.

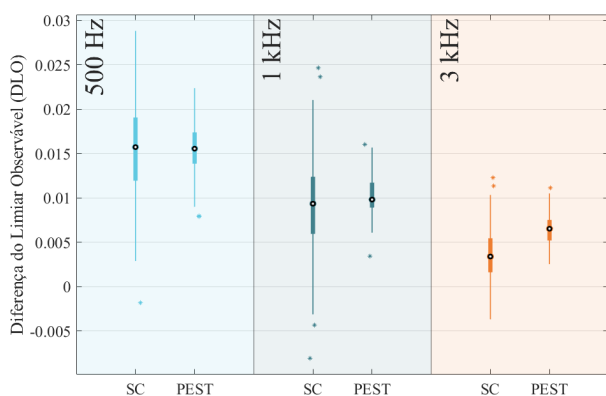


Figura 7: DLO da amostra total para os métodos de SC e PEST considerando os sinais impulsivos filtrados nas frequências centrais de 500 Hz, 1.000 Hz e 3.000 Hz.

Além disso, os resultados pontuam também que os sinais com energia concentrada nas altas frequências possuíam menor variabilidade, comparados as sinais com energia concentrada em frequências mais baixas. Outrossim, analisando os resultados obtidos entre os métodos é possível perceber que, de forma geral, as DLOs tiveram a mesma tendência em todas as faixas de frequência, ainda que o método SC tenha apresentado maior variabilidade.

A Tabela 2 mostra as médias e os desvios padrão das DLO ($DLO_n \pm DP$) obtidas para as amostras globais de cada método avaliado, considerando as três faixas de frequência analisadas.

Tabela 2: Valores médios e desvio padrão da DLO obtida da amostra total para os métodos PEST e SC.

Freq. Central [Hz]	DLO SC [$DLO_n \pm DP$]	DLO PEST [$DLO_n \pm DP$]
500	0,0153 $\pm$ 0,0040	0,0151 $\pm$ 0,0064
1000	0,0089 $\pm$ 0,0061	0,0088 $\pm$ 0,0027
3000	0,0049 $\pm$ 0,0038	0,0059 $\pm$ 0,0025

A variabilidade dos dados foi também avaliada em função das tentativas dos usuários. Para essa análise, primeiramente, foi feita a normalização do histórico de respostas de todo o espaço amostral, isto pois a amplitude inicial era atribuída de forma aleatória para cada usuário no início do teste. Além disso, para fins comparativos, foi feito o truncamento das respostas até a tentativa número 20. Para esse análise, levou-se em consideração todo o espaço amostral, inclusive os *outliers*. Esse procedimento foi feito para ambos métodos e para as três faixas de frequência presentes no teste. As Figuras 8 e 9 mostram, respectivamente, a variabilidade do histórico de respostas para os métodos SC e PEST.

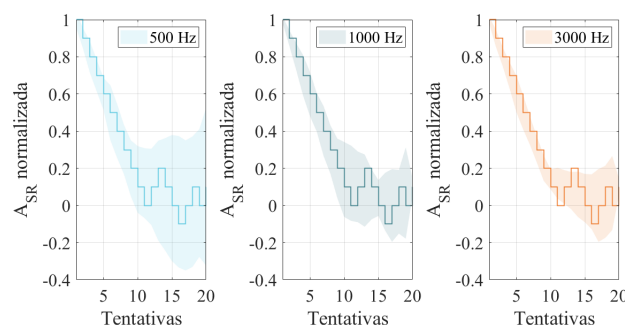


Figura 8: Dispersão do histórico de respostas para o método SC. Os resultados são mostrados de forma normalizada e sem a exclusão dos *outliers*.

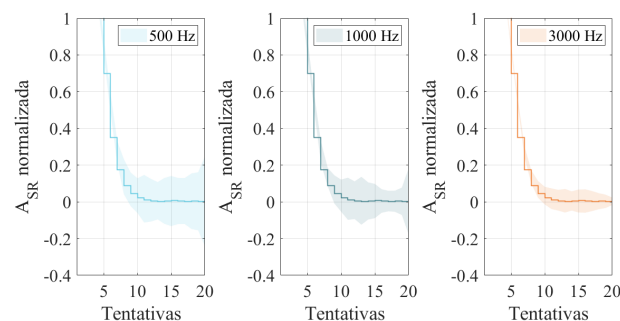


Figura 9: Dispersão do histórico de respostas para o método PEST. Os resultados são mostrados de forma normalizada e sem a exclusão dos *outliers*.

Tanto para o método SC quanto para o método PEST, as maiores dispersões por tentativa foram encontradas nos sinais impulsivos com energia concentrada nas baixas frequências, corroborando com os resultados globais, mostrados na Figura 7 e na Tabela 2. Por meio dos resultados estratificados foi possível analisar os dados de acordo com o sexo, faixa etária e conhecimento em acústica. A Tabela 3 mostra os valores médios da DLO e os desvios padrão de todos os resultados estratificados para ambos métodos.

De acordo com o sexo, foi constatado que, de forma geral, mulheres apresentaram menores valores de DLO comparados ao homens, exceto para a sinais impulsivos centralizados na frequência de 3.000 Hz, onde os homens tiveram melhores performances. No quesito idade, os dados apontaram que as faixas entre 50-60 e 60-70 tiveram as maiores DLO para ambos métodos, comparados as outras faixas etárias. Por fim, o grupo que assinalou positivo para o conhecimento em acústica, sendo considerado como grupo especialista nesta estratificação, obtiveram as menores DLO entre todos os demais grupos da amostra.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização de um sinal impulsivo é uma tarefa que envolve conhecer quais as faixas de frequência que causam maior sensibilidade nas pessoas. Além disso, quando se trata de refrigeradores, essa classificação é ainda mais pertinente, podendo servir como auxílio na fabricação de produtos que causem cada vez menos desconforto ao consumidor.

Testes remotos são uma maneira prática de conseguir atingir um espaço amostral relativamente grande em pouco espaço de tempo, o que seria praticamente inviável em testes presenciais. Os

métodos SC e PEST comprovaram serem boas ferramentas na obtenção de resultados. Porém, para futuras validações, faz-se necessário a aplicação desta mesma metodologia de forma presencial.

Os resultados obtidos mostraram que, de forma geral, sinais impulsivos com energia concentrada em baixas frequências apresentaram os maiores valores de DLO, quando comparados a sinais com energia concentrada em frequências mais altas. Esperava-se maior dispersão dos dados, pois não foi possível acompanhar a maioria dos testes. Isto sugere que as instruções passadas por meio das interfaces conseguiram atingir o objetivo.

Aparentemente o método PEST demonstrou-se ser uma metodologia mais eficiente para este tipo de análise, pois, os valores obtidos apresentaram menores variabilidades. Outra informação relevante obtida por meio desse estudo foi que as mulheres tiveram menores DLOs comparadas aos homens, assim como os especialistas, que obtiveram melhores resultados em relação aos leigos. Outrossim, os idosos apresentaram as DLOs mais elevadas comparadas aos resultados dos demais grupos.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Tabela 3: Valores médios e desvio padrão da DLO obtida da amostra estratificada para os métodos PEST e SC.

Variável Sociodemográfica	DLO SC			DLO PEST		
	500 Hz	1.000 Hz	3.000 Hz	500 Hz	1.000 Hz	3.000 Hz
Sexo						
Homens	0,0174 ± 0,0046	0,0101 ± 0,0041	0,0039 ± 0,0027	0,0163 ± 0,0041	0,0102 ± 0,0021	0,0053 ± 0,0027
Mulheres	0,0103 ± 0,0050	0,0090 ± 0,0048	0,0042 ± 0,0023	0,0091 ± 0,0030	0,0079 ± 0,0018	0,0049 ± 0,0014
Idade						
10-20	0,0132 ± 0,0045	0,0100 ± 0,0031	0,0033 ± 0,0021	0,0110 ± 0,0045	0,0098 ± 0,0030	0,0032 ± 0,0020
20-30	0,0098 ± 0,0052	0,0052 ± 0,0029	0,0049 ± 0,0025	0,0125 ± 0,0029	0,0101 ± 0,0024	0,0055 ± 0,0019
30-40	0,0101 ± 0,0027	0,0082 ± 0,0032	0,0039 ± 0,0031	0,0096 ± 0,0027	0,0078 ± 0,0016	0,0038 ± 0,0017
40-50	0,0187 ± 0,0050	0,0095 ± 0,0032	0,0054 ± 0,0026	0,0128 ± 0,0050	0,0089 ± 0,0032	0,0037 ± 0,0016
50-60	0,0187 ± 0,0044	0,0097 ± 0,0042	0,0058 ± 0,0030	0,0132 ± 0,0051	0,0088 ± 0,0042	0,0040 ± 0,0030
60-70	0,0209 ± 0,0078	0,0136 ± 0,0059	0,0111 ± 0,0043	0,0142 ± 0,0121	0,0109 ± 0,0096	0,0093 ± 0,0043
Conhecimento em acústica						
Leigos	0,0168 ± 0,0078	0,0102 ± 0,0049	0,0061 ± 0,0059	0,0120 ± 0,0023	0,0101 ± 0,0047	0,0058 ± 0,0031
Especialistas	0,0098 ± 0,0022	0,0071 ± 0,0019	0,0031 ± 0,0015	0,0108 ± 0,0013	0,0074 ± 0,0009	0,0036 ± 0,0007



REFERÊNCIAS

- [1] Sottek, Roland e Genuit, Klaus. Models of signal processing in human hearing. 59(3):157–165. ISSN 1434-8411. doi: [10.1016/j.aeue.2005.03.016](https://doi.org/10.1016/j.aeue.2005.03.016). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1434841105000701>.
- [2] Sato, Shin-ichi; You, Jin e Jeon, Jin Yong. Sound quality characteristics of refrigerator noise in real living environments with relation to psychoacoustical and autocorrelation function parameters. 122(1):314–325. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.2739440](https://doi.org/10.1121/1.2739440). Disponível em: <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.2739440>.
- [3] Farell, Bart e Pelli, Denis G. Psychophysical methods, or how to measure a threshold, and why. Em *Vision Research*. Oxford University Press. ISBN 978-0-19-852319-2. doi: [10.1093/acprof:oso/9780198523192.003.0005](https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198523192.003.0005). Disponível em: <https://oxford.universitypressscholarship.com/10.1093/acprof:oso/9780198523192.001.0001/acprof-9780198523192-chapter-5>.
- [4] Rinderknecht, Mike D.; Ranzani, Raffaele; Popp, Werner L.; Lambercy, Olivier e Gassert, Roger. Algorithm for improving psychophysical threshold estimates by detecting sustained inattention in experiments using PEST. 80(6):1629–1645. ISSN 1943-393X. doi: [10.3758/s13414-018-1521-z](https://doi.org/10.3758/s13414-018-1521-z). Disponível em: <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1521-z>.
- [5] Peng, Z. Ellen; Waz, Sebastian; Buss, Emily; Shen, Yi; Richards, Virginia; Bharadwaj, Hari; Stecker, G. Christopher; Beim, Jordan A.; Bosen, Adam K.; Braza, Meredith D.; Diedesch, Anna C.; Dorey, Claire M.; Dykstra, Andrew R.; Gallun, Frederick J.; Goldsworthy, Raymond L.; Gray, Lincoln; Hoover, Eric C.; Ihlefeld, Antje; Koelewijn, Thomas; Kopun, Judy G.; Mesik, Juraj; Shub, Daniel E. e Venezia, Jonathan H. FORUM: Remote testing for psychological and physiological acoustics. 151(5):3116–3128. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/10.0010422](https://doi.org/10.1121/10.0010422). Disponível em: <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/10.0010422>. Publisher: Acoustical Society of America.
- [6] Windhorst, Uwe. *Modern Techniques in Neuroscience Research*. Springer Science & Business Media. ISBN 978-3-540-64460-6.
- [7] Willemsen, Andrew M e Rao, Mohan D. Characterization of sound quality of impulsive sounds using loudness based metric. 5:3397–3404.
- [8] Hairston, W. David e Maldjian, Joseph A. An adaptive staircase procedure for the e-prime programming environment. 93(1):104–108. ISSN 0169-2607. doi: [10.1016/j.cmpb.2008.08.003](https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2008.08.003). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016926070800206X>.
- [9] Cornsweet, Tom N. The staircase-method in psychophysics. 75(3):485–491. ISSN 0002-9556. doi: [10.2307/1419876](https://doi.org/10.2307/1419876). Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1419876>.
- [10] Johnson, Chris; Chauhan, B e Shapiro, Lionel. Properties of staircase procedures for estimating thresholds in automated perimetry. 33:2966–74.
- [11] Bobb, Morgan R.; Van Heukelom, Paul G.; Faine, Brett A.; Ahmed, Azeemuddin; Messerly, Jeffrey T.; Bell, Gregory; Harland, Karisa K.; Simon, Christian e Mohr, Nicholas M. Telemedicine provides noninferior research informed consent for remote study enrollment: A randomized controlled trial. 23(7):759–765. ISSN 1553-2712. doi: [10.1111/acem.12966](https://doi.org/10.1111/acem.12966). Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/acem.12966>. _eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/acem.12966>.
- [12] Kollmeier, Birger; Gilkey, Robert H. e Sieben, Ulrich K. Adaptive staircase techniques in psychoacoustics: A comparison of human data and a mathematical model. 83(5):1852–1862. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.396521](https://doi.org/10.1121/1.396521). Disponível em: <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.396521>.
- [13] Ehrenstein, Walter H. e Ehrenstein, Addie. Psychophysical methods. Em Windhorst, Uwe e Johansson, Håkan, editores, *Modern Techniques in Neuroscience Research*, págs. 1211–1241. Springer. ISBN 978-3-642-58552-4. doi: [10.1007/978-3-642-58552-4_43](https://doi.org/10.1007/978-3-642-58552-4_43). Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-642-58552-4_43.
- [14] Taylor, M. M. e Creelman, C. Douglas. PEST: Efficient estimates on probability functions. 41(4):782–787. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.1910407](https://doi.org/10.1121/1.1910407). Disponível em: <https://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/1.1910407>. Publisher: Acoustical Society of America.