

FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Desenvolvimento de uma plataforma virtual para avaliação subjetiva do ruído de refrigeradores

Menegatt, W. F.¹; Vergara, E. F. M.¹; Silveira, H. A.¹

¹ Laboratório de Vibrações e Acústica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, willian.menegatt@hotmail.com

Resumo

Os avanços tecnológicos têm permitido que pesquisas sejam realizadas remotamente e que os testes de escuta mostrem aplicações para avaliação da inteligibilidade de fala, da percepção musical e na identificação de perda auditiva. Nesse trabalho é apresentado o desenvolvimento de uma plataforma virtual e das interfaces gráficas para realização de testes subjetivos aplicados de forma remota on-line e presencialmente. O ambiente de programação utilizado foi o software Visual Studio Code e nele foram construídas todas as interfaces com que o usuário pode interagir. A linguagem que abrangeu todos os arquivos principais foi o HTML, permitindo a inserção de texto, links, áudios e imagens. A plataforma foi montada em três etapas: estrutura das interfaces, servidor local e hospedagem on-line. Os cinco sinais sonoros que foram selecionados basearam-se nas diferentes condições de ambiente para um refrigerador doméstico, quando instalado em cozinhas parcial ou totalmente integradas. Cinco métodos de avaliação subjetiva foram selecionados para executar os testes on-line e presenciais: Diferencial Semântico (DS), Ordenamento (OR), Comparação Pareada (CP), Escala de Respostas (ER) e Estimativa de Magnitude (EM). Os cinco pares de descritores escolhidos para o ensaio foram: silencioso–barulhento, não-metálico–metálico, agudo–grave, estável–vibrante, monótono–oscilante. O número de pessoas que responderam os testes de forma remota foi de 100, a amostra de estudo se mostrou bem diversificada nos quesitos região, idade e conhecimento na área de acústica, e a maioria dos participantes utilizou fones de ouvido do tipo auriculares. De maneira geral os participantes concordaram entre os métodos na definição do som A como o mais barulhento e metálico. O som E foi considerado o mais silencioso entre as respostas dos usuários. As avaliações subjetivas realizadas presencialmente tiveram boas correlações com as respostas de maneira remota on-line, o que pode indicar a ferramenta web como uma alternativa aos ensaios presenciais habituais.

Palavras-chave: qualidade sonora, avaliação subjetiva, refrigeradores, remoto, on-line.

PACS: 43.66.-x.

Development of a virtual platform for subjective evaluation of refrigerator noise

Abstract

Technological advances have allowed research to be carried out remotely and listening tests show applications for the assessment of speech intelligibility, musical perception and the identification of hearing loss. This work presents the development of a virtual platform and graphical interfaces to perform subjective tests applied remotely online and in-person. The programming environment used was the Visual Studio Code software and all the interfaces with which the user can interact were built in it. The language that covered all the main files was HTML, allowing the insertion of text, links, audios and images. The platform was assembled in three stages: interface structure, local server and online hosting. The five sounds that were selected were based on the different ambient conditions for a domestic refrigerator, when installed in partially or fully integrated kitchens. Five subjective assessment methods were selected to perform the online and face-to-face tests: Semantic Differential (DS), Ranking (OR), Paired Comparison (CP), Response Scale (ER) and Magnitude Estimation (EM). The five pairs of descriptors chosen for the test were: silent–noisy, non-metallic–metallic, sharp–bass, stable–vibrant, monotonous–oscillating. The number of people who answered the tests remotely was 100, the study sample was very diverse in terms of region, age and knowledge in the area of acoustics, and most participants used in-ear headphones. In general, participants agreed between the methods in defining sound A as the loudest and most metallic. Sound E was considered the quietest among users' responses. The subjective assessments carried out in person had good correlations with the answers remotely online, which may indicate the web tool as an alternative to the usual in-person tests.

Keywords: sound quality, subjective evaluation, refrigerators, remote, online.



1. INTRODUÇÃO

Pesquisas na área de acústica normalmente são conduzidas presencialmente em laboratórios, o que pode acarretar dificuldade em obter grandes amostras de participantes para uma boa força estatística. A tecnologia digital proporcionou a possibilidade de realizar pesquisas de forma remota, algumas aplicações podem ser destacadas: inteligibilidade de fala [1], percepção musical [2] e identificação de perda auditiva [3]. Recentemente Peng et al. [4] reuniram diversas pesquisas na área de psicoacústica, as quais foram realizadas de forma remota devido a pandemia do Covid-19. O artigo fornece três estudos de caso para demonstrar a viabilidade dos testes remotos: A: método que utiliza *take-home approach* ou levar até a casa do usuário o teste, B: estudo que utilizou um software experimental instalável; C: estudo de caso que o acesso é dado por um navegador web.

Existem diversas vantagens dos testes via web em relação aos testes presenciais para o participante: comodidade relacionada ao conforto de sua casa, disponibilidade da plataforma a qualquer momento, diminuição de tempo e custo em relação a deslocamento até o laboratório e a possibilidade de uma amostra relevante e diversificada [5].

A psicoacústica é uma sub-área da psico-física e tem o objetivo de estudar a relação entre som, audição e psicologia [6]. Os conceitos da psicoacústica são determinantes em estudos de avaliação subjetiva. O presente trabalho tem o objetivo de avaliar o desempenho de cinco métodos de avaliação subjetiva por meio de uma plataforma digital hospedada na web. Os ensaios subjetivos foram realizados tanto de forma remota, como presencialmente, para analisar as correlações entre os resultados dos dois ambientes. Os ruídos avaliados nessa pesquisa são provenientes de refrigeradores domésticos, os quais são eletrodomésticos presentes na maioria das residências e estão em contínuo funcionamento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Qualidade Sonora

A avaliação subjetiva é uma importante etapa de um estudo de qualidade sonora. Esta, tem o papel de se preocupar com a emissão sonora de novos

produtos. A qualidade sonora pode ser entendida como uma combinação de aspectos físicos e julgamentos individuais sobre um mesmo sinal sonoro [7].

Os aspectos físicos de um ruído podem ser quantificados com o auxílio de modelos matemáticos validados. Os principais modelos psicoacústicos são: *Loudness*, *Sharpness*, *Roughness* e *Fluctuation Strength* [6]. Estes, podem ser calculados com o auxílio de programas computacionais comerciais como o BK Connect ou construindo algoritmos, com bibliotecas de Matlab ou Python.

A avaliação subjetiva é utilizada para entender os julgamentos individuais sobre o ruído. São realizados ensaios com um júri, que é convocado a avaliar sinais sonoros e responder sobre sensações causadas por esses estímulos [8]. Os questionários destes ensaios são construídos com métodos já conhecidos na literatura. Os principais métodos de avaliação subjetiva são: Diferencial Semântico, Ordenamento, Comparação Pareada, Escala de Respostas e Estimativa de Magnitude [8].

2.2 A plataforma digital

Os ensaios subjetivos, tanto presenciais como remoto on-line, foram realizados por meio de uma plataforma digital. Algum conhecimento de programação é necessário para construir as interfaces. As linguagens recomendadas são: HTML, CSS e PHP. Os resultados dos participantes são armazenados em um banco de dados, logo, é necessário conhecer a linguagem SQL, utilizada como ferramenta para tratar e exportar esses dados. Um diagrama esquemático pode ser visualizado na Figura 1.

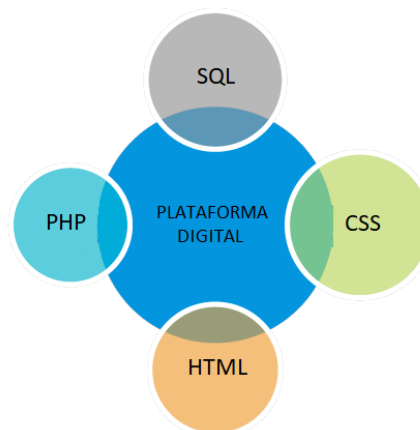


Figura 1: Conhecimentos necessários para construção de plataforma web.

As principal dificuldade para ensaios de forma remota é a falta de controle do pesquisador sobre o júri, no sentido do usuário seguir as instruções e completar o teste [2]. Uma série de fatores foram explorados e são listados como recomendações a testes on-line [9]:

- Usufruir de uma plataforma de aparência agradável e amistosa;
- Não utilizar anúncios;
- Enfatizar o nome da instituição e o propósito da pesquisa;
- Garantir a confiabilidade dos dados;
- Disponibilizar informações de contato;
- Oferecer uma gratificação e *feedback* ao final do teste;
- Sempre informar sobre em que ponto do teste o usuário se encontra;
- Providenciar instruções e treinamento antes de cada teste.

2.3 Análise dos dados

Muitos dados são obtidos dos resultados das avaliações subjetivas. A biblioteca Pandas da linguagem Python é uma excelente ferramenta para tratamento e análise dos dados.

Para determinar uma correlação entre os cálculos dos modelos psicoacústicos e as avaliações subjetivas, podem ser aplicadas ferramentas estatísticas como a regressão linear múltipla (Equação 1). Esta, tem o objetivo de definir um modelo de "incômodo" que considere tanto os julgamentos individuais como os aspectos físicos do ruído de refrigeradores.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots \beta_k x_k + \varepsilon, \quad (1)$$

onde, β_0 e β_i (associados a cada variável x_i) são os coeficientes de regressão, ε é o erro aleatório residual e y continua como variável dependente (resposta).

3. MODELOS PSICOACÚSTICOS

Foram selecionados cinco sinais de refrigeradores já utilizados na pesquisa de Dal Moro [10]. Estes sinais foram gravados sob diferentes con-

dições de ambiente (tipo de cozinha e distância fonte-receptor), as quais podem ser visualizadas no Quadro 1.

Quadro 1: Sinais de refrigerador escolhidos para estudo.

Sinal	Pares de Descritores	Distância fonte-receptor [m]
A	Cozinha parc. integrada - Posição próxima	1,56
B	Cozinha parc. integrada - Posição distante	3,11
C	Cozinha totalmente integrada - Posição próxima	1,84
D	Cozinha totalmente integrada - Posição distante	3,80
E	Cozinha parc. integrada - Posição próxima simulada	1,56

O cálculo dos modelos psicoacústicos foi realizado para cada um dos cinco ruídos. O software BK Connect permite o cálculo para os valores globais e também os valores distribuídos ao longo da frequência agrupada em bandas críticas (1 a 24 Bark).

Na Figura 2 pode-se visualizar a distribuição de *Loudness* em sonos ao longo da frequência em bandas críticas. Essa métrica representa a sensação de volume ou energia de um sinal sonoro.

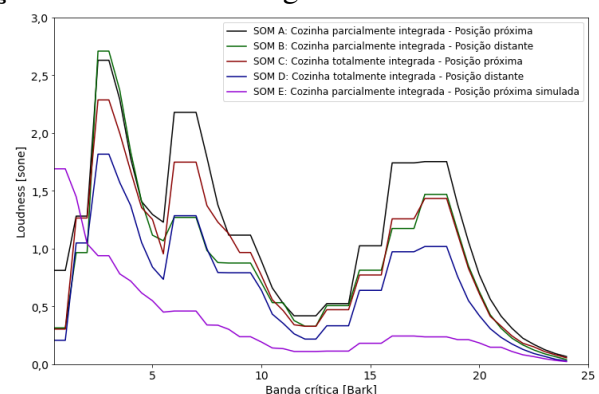


Figura 2: *Loudness* para os cinco sinais de refrigeradores.

Na Figura 3 visualiza-se a distribuição da métrica *Sharpness* em acum. Esse modelo representa a agudeza de um sinal sonoro. Nota-se uma concentração maior em alta frequência (14 a 20 Bark) para a maioria dos sinais, com exceção do som E.

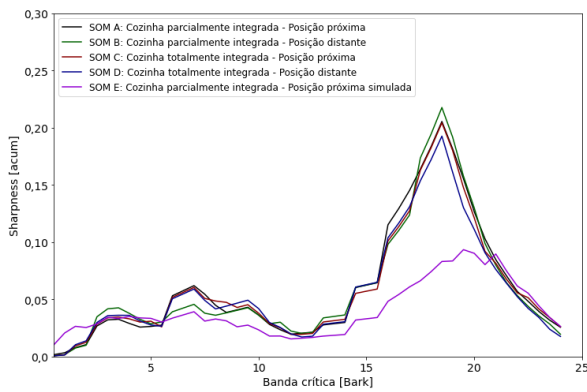


Figura 3: *Sharpness* para os cinco sinais de refrigeradores.

A seguir, na Figura 4 observa-se os valores de *Roughness* em asper ao longo das bandas críticas. Essa métrica representa a percepção de modulação rápida do som.

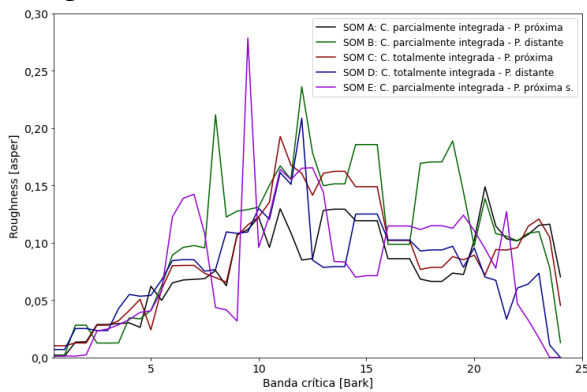


Figura 4: *Roughness* para os cinco sinais de refrigeradores.

Por fim, os valores distribuídos do modelo de *Fluctuation Strength* são apresentados na Figura 5. Essa métrica representa a percepção de flutuação, ou seja, modulações lentas na amplitude do sinal sonoro. Observa-se valores elevados na casa dos 6 a 7 Bark (570 a 700 Hz) para os ruídos da cozinha parcialmente integrada (Sons A, B e E).

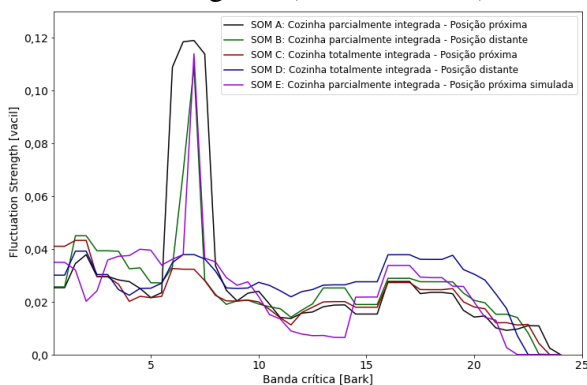


Figura 5: *Fluctuation Strength* para os cinco sinais de refrigeradores.

Além dos valores distribuídos na frequência, os valores totais (globais) foram calculados para cada um dos modelos psicoacústicos. Apresenta-se no Quadro 2 os resultados para cada um dos ruídos de refrigeradores. Os valores globais serão utilizados para construir modelos que relacione as métricas com as avaliações subjetivas.

Quadro 2: Valores globais dos modelos psicoacústicos.

Sinal	Loudness [sone]	Sharpness [acum]	Roughness [asper]	Fluctuation Strength [vacil]
Som A	26,33	1,32	1,93	1,92
Som B	20,90	1,30	2,63	2,63
Som C	21,72	1,30	2,19	2,09
Som D	1,26	4,76	1,91	1,88
Som E	9,04	0,90	1,99	2,12

4. AVALIAÇÃO SUBJETIVA

4.1 Definição dos descritores

Para um teste de júri subjetivo de escuta é necessário elaborar a semântica adequada, na qual adjetivos ou descritores possam representar efetivamente as sensações produzidas ao ouvir aqueles sinais sonoros. Os descritores selecionados e adaptados de Dal Moro [10] podem ser visualizados no Quadro 3.

Quadro 3: Descritores selecionados para avaliação subjetiva.

	Pares de Descritores
1	Silencioso - Barulhento
2	Não-metálico - Metálico
3	Agudo - Grave
4	Estável - Vibrante
5	Monótono - Oscilante

4.2 Elaboração da plataforma

Para a construção da plataforma, é necessário um ambiente de programação ou IDE (*Integrated Development Environment*). Foi utilizado o software gratuito da microsoft Visual Studio Code.

A linguagem que abrange todos os arquivos principais é o HTML, a qual é utilizada para a estrutura das informações. Arquivos no formato CSS são vinculados aos arquivos HTML para dar a estilização às interfaces. A linguagem PHP é utilizada para fazer o gerenciamento de sessão individual de cada usuário e fazer a conexão dos dados gerados para um banco de dados.

Cada pixel na tela é pensado para fornecer uma

boa experiência ao participante. A Figura 6 apresenta a interface inicial da plataforma.



Figura 6: Interface da página inicial para os usuários.

Os métodos de avaliação subjetiva foram implementados na plataforma digital, a qual foi utilizada para os ensaios on-line e presenciais. Os cinco métodos avaliados foram (Figura 7): diferencial semântico (DS), ordenamento (OR), comparação pareada (CP), escala de resposta (ER) e estimativa de magnitude (EM).



Figura 7: Interface dos métodos de avaliação subjetiva.

Instruções são apresentadas desde o início ao participante, bem como um treinamento para se familiarizar com o método. Na Figura 8 visualiza-se a interface e aplicação do teste diferencial semântico, onde o usuário deve escolher um valor na escala conforme os antônimos nas extremidades.



Figura 8: Teste de avaliação - Diferencial Semântico.

A plataforma foi elaborada de forma minimalista, simples, amigável e intuitiva. Orientações são

sugeridas no início dos testes, como a utilização de fones de ouvido e se dirigir ao ambiente silencioso. Aos participantes é requisitado, além das respostas dos testes, um pequeno cadastro e o tipo de fones de ouvido que vão utilizar.

5. RESULTADOS DOS ENSAIOS ON-LINE (VIA WEB)

Com a plataforma pronta e disponível em um URL na web, as pessoas puderam responder os testes subjetivos de qualquer lugar com acesso a internet. O número de pessoas que responderam os testes via web foi de 100 participantes. Análises foram realizadas para todos os métodos por meio de gráficos e ferramentas estatísticas.

No gráfico da Figura 9 é possível observar a diferença entre os tipos de fones de ouvido utilizados pelos participantes. A maioria utilizou fones do tipo auriculares (34 pessoas). As cores fornecem a diversidade entre sexos (62 masculino e 38 feminino).

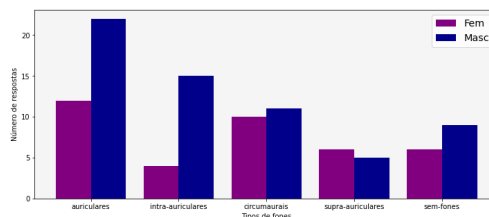


Figura 9: Respostas por tipo de fones e sexo.

Os resultados das respostas dos usuários para o par de adjetivos silencioso-barulhento do método diferencial semântico podem ser observados nos histogramas da Figura 10. Nota-se que, para o som A, as avaliações estão concentradas nos valores mais elevados, e o som E foi o que recebeu mais respostas na extremidade do silencioso.

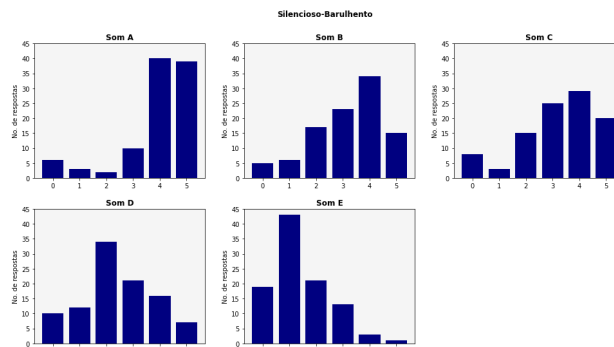


Figura 10: Respostas de cada som para silencioso-barulhento - DS.



Por meio do diagrama de caixa (Figura 11), visualiza-se as diferenças na distribuição das mesmas respostas.

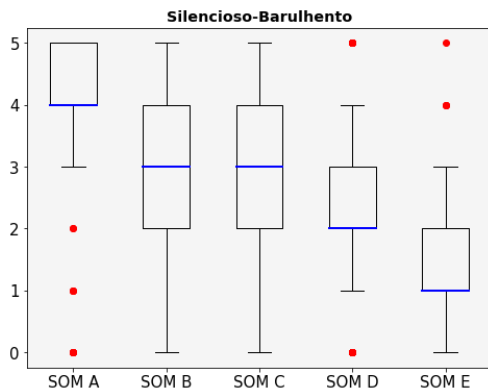


Figura 11: Distribuição das respostas para silencioso-barulhento - DS.

Similarmente, os métodos Escala de Respostas e Estimativa de Magnitude foram analisados com histogramas e diagramas de caixas. Para o método Ordenamento, visualiza-se no gráfico da Figura 12 as ordens escolhidas pelos usuários para o descritor barulhento. Percebe-se que o som A esteve em primeiro nas mais ordens mais votadas, assim como o som E em último.

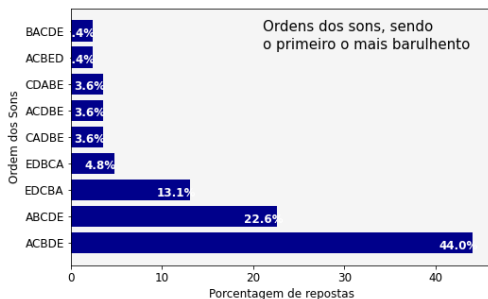


Figura 12: Ordens para o ambiente remoto - OR.

Para o método Comparação Pareada, apenas três dos cinco ruídos foram selecionados para a avaliação aos pares: sons C, D e E. A razão seria para diminuir o número de comparações e não estender demais o tempo de teste. No gráfico da Figura 13 é possível observar os resultados das comparações para o adjetivo barulhento.

De maneira geral, todos os métodos concordaram entre si na definição do som A como o mais barulhento e metálico. Da mesma forma o som E pôde ser considerado como o mais grave. Percebe-se uma dificuldade no entendimento de alguns descritores, como metálico ou vibrante. O teste que obteve maior uniformidade nas respostas foi a

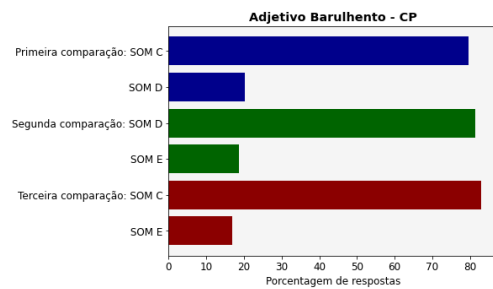


Figura 13: Respostas de comparações aos pares para barulhento - CP

comparação pareada, ou seja, uma análise dos descritores utilizando um par de sinais sonoros por vez.

Após a análise dos resultados de forma remota, o próximo passo foi definir um modelo que associasse tanto os julgamentos do júri como os modelos psicoacústicos. No fluxograma da Figura 14 observa-se as etapas para a construção dos modelos.

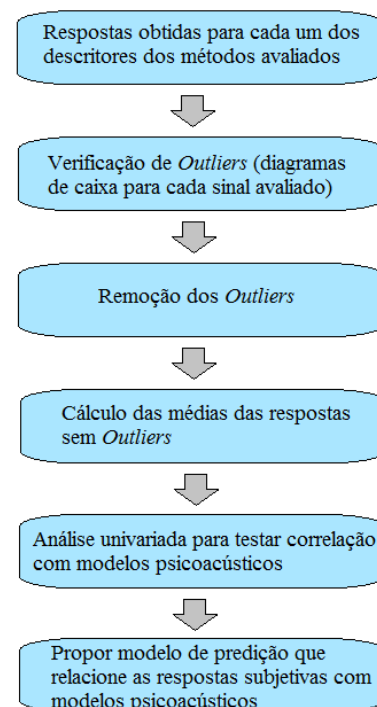


Figura 14: Processos para construção do modelo.

Um modelo para cada um dos adjetivos foi calculado por meio da análise de regressão multivariada. Para o método diferencial semântico, o modelo que define "barulhento" pode ser observado na Equação 2. As métricas psicoacústicas que obtiveram as melhores correlações com os descritores foram *Loudness* e *Sharpness*.

$$B_{DS} = 0,18L - 0,05S - 0,25, \quad (2)$$

sendo L o valor global de *Loudness* em sones e S o valor global de *Sharpness* na unidade acum.

6. RESULTADOS DOS ENSAIOS PRESENCIAIS

Por conta da pandemia do Covid-19, os ensaios presenciais foram realizados por último no Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA) da UFSC. Medidas de prevenção foram tomadas, como o uso de máscara e álcool e gel pelos participantes. O júri foi composto por 30 participantes.

As mesmas etapas de avaliação dos resultados do ambiente remoto foram aplicadas ao ambiente presencial. Além disso, para cada método de avaliação subjetiva foi realizada uma comparação estatística das respostas dos usuários para os dois ambientes. O Quadro 4 apresenta os resultados para o adjetivo vibrante no método Escala de Respostas.

Quadro 4: Comparação estatística para vibrante - ER.

Sinal	média presencial	média remoto	mediana presencial	mediana remoto	desvio-padrão presencial	desvio-padrão remoto
Som A	6,88	7,06	7,50	8,00	2,50	2,56
Som B	5,85	6,19	6,00	6,00	1,69	2,01
Som C	6,12	6,38	6,60	6,00	1,45	1,95
Som D	4,35	4,76	4,50	5,00	1,47	2,04
Som E	3,85	3,88	2,50	3,00	3,20	3,32
Cof. corr.	$r_{media} = 0,9937$		$r_{mediana} = 0,9899$		$r_{desvio} = 0,9822$	

Nota-se valores muito próximos para média, mediana e desvio-padrão entre os ambientes. Ao analisar o coeficiente de correlação r, observa-se valores excelentes, próximo de 1, o que pode indicar concordância entre os usuários do remoto e presencial. Resultados muito parecidos foram encontrados para os métodos Diferencial Semântico e Estimativa de Magnitude.

Outra comparação interessante foi realizada para o método de ordenamento, em que o usuário deveria estipular uma ordem para os sinais sonoros conforme o adjetivo. Na Figura 15 é possível visualizar todas as ordens definidas pelos participantes de acordo com o descritor barulhento. Nota-se que o ambiente on-line possui um maior número de respostas diferentes, consequência de

uma amostra maior.

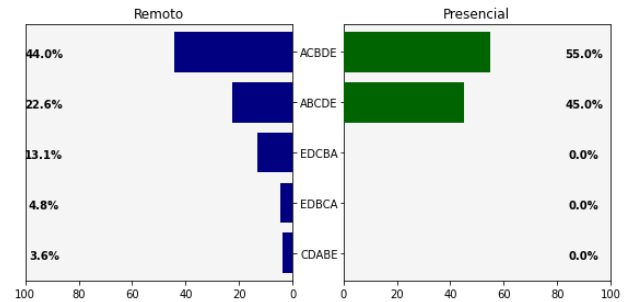


Figura 15: Ordens para barulhento - OR.

Pelas diferenças das amostras, decidiu-se avaliar as diferenças dos resultados da Comparação Pareada em porcentagem. Na Figura 16 são apresentadas as comparações entre ambientes para o adjetivo oscilante. Observa-se pouca diferença entre o ambiente remoto e presencial também para este método.

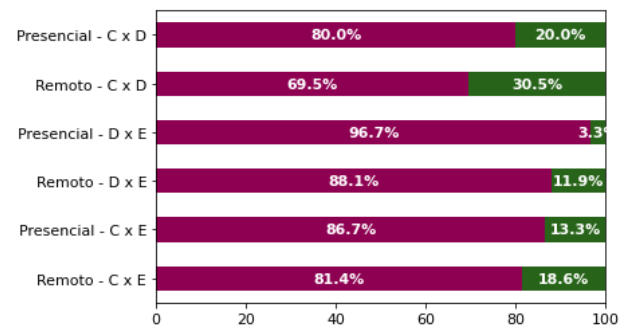


Figura 16: Comparações para oscilante - CP

De modo geral, todos os métodos obtiveram boas correlações entre o presencial e o on-line. As desigualdades podem estar relacionadas a diferença das amostras.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa teve o objetivo de realizar um estudo de qualidade sonora para ruídos de refrigeradores com um foco maior na avaliação subjetiva. Foi possível avaliar o desempenho dos métodos de avaliação subjetiva, tanto para os habituais em laboratório, como de forma remota on-line.

Os modelos psicoacústicos *Loudness* e *Sharpness* tiveram boas correlações com os descritores utilizados nos ensaios subjetivos, logo, foram utilizados para a construção dos modelos para cada adjetivo.

Percebe-se uma maior variabilidade dos resultados para os adjetivos metálico, vibrante e osci-



lante. Os usuários podem ter tido dificuldade ao interpreta-los.

Estatisticamente, foram obtidas boas correlações entre o ambiente presencial e o remoto. O que pode indicar que o ambiente não é um fator relevante em ensaios subjetivos com júri.

Por fim, a ferramenta web se demonstrou uma boa alternativa para conquistar amostras mais relevantes e aumentar a credibilidade de pesquisas na área de acústica subjetiva.

8. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos sinceros pela bolsa de estudos disponibilizada pela CAPES, que possibilitou esta contribuição ao mundo acadêmico.

REFERÊNCIAS

- [1] Oliveira P. A., Santos T. M. M., Carmo M. P. Fiore A. Noise speech tests in the audiological clinic - an integrative review. *Distúrb Comun*, 2020.
- [2] Honing H., Ladinig O. The potential of the internet for music perception research: a comment on lab-based versus web-based studies. *Empirical Musicology Review*, 3, 2008.
- [3] Leensen M. C. J., Snik A. F. M., Laat J. Dreschler W. A. Speech-in-noise screening tests by internet, part 2: Improving test sensitivity for noise-induced hearing loss. *International Journal of Audiology*, 2011.
- [4] Z. Ellen Peng, Sebastian Waz, Emily Buss Yi Shen Virginia Richards Hari Bharadwaj G. Christopher Stecker Jordan A. Beim Adam K. Bosen Meredith D. Braza Anna C. Diedesch Claire M. Dorey Andrew R. Dykstra Frederick J Gallun Raymond L. Goldsworthy Lincoln Gray Eric C. Hoover Antje Ihlefeld Thomas Koelewijn Judy G. Kopun Juraj Mesik Daniel E. Shub e Venezia, Jonathan H. Remote testing for psychological and physiological acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America* 151, 3116, 2022.
- [5] U.D., Reips. The web experiment method: advantages, disadvantages, and solutions. *Academic Press*, 2014.
- [6] Fastl H., Zwicker E. *Psychoacoustics: facts and models*. 2ª ed. Springer, 2007.
- [7] Blauert J., Jekosch U. The web experiment method: advantages, disadvantages, and solutions. *Sound quality evaluation - a multi-layered problem*, 1997.
- [8] H., Fastl. *Psycho-acoustics and sound quality*. 2ª ed. Communication acoustics, 2005.
- [9] U.D., Reips. Theory and techniques of web experimenting. *B. Batinic, Online Research: Methoden, Anwendungen und Ergebnisse*. Göttingen: Hogrefe., 1999.
- [10] M., Dal Moro P. M. Estudo da influência do ambiente de instalação e da condição de montagem na percepção sonora de um refrigerador doméstico. *Dissertação (Mestrado)*, 2019.