



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
DOUTORADO

**AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DO RUÍDO E DA
QUALIDADE ACÚSTICA NO DESEMPENHO COGNITIVO
DO USUÁRIO DE SALA DE AULA COM USO DA
REALIDADE VIRTUAL**

Luciana da Rocha Alves

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Bianca Carla Dantas de Araújo

Coorientador: Prof Dr rer. nat. Michael Vorländer

Natal/RN

2023

Luciana da Rocha Alves

**AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DO RUÍDO E DA
QUALIDADE ACÚSTICA NO DESEMPENHO COGNITIVO
DO USUÁRIO DE SALA DE AULA COM USO DA
REALIDADE VIRTUAL**

Tese apresentada ao curso de doutorado do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, na área de concentração Projeto, morfologia e tecnologia do ambiente construído, como requisito à obtenção do título de Doutora em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^a Dr^a Bianca Carla Dantas de Araújo

Coorientador: Prof Dr rer. nat. Michael Vorländer

NATAL

2023

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Dr. Marcelo Bezerra de Melo Tinôco - DARQ - CT

Alves, Luciana da Rocha.

Avaliação da interferência do ruído e da qualidade acústica no desempenho cognitivo do usuário de sala de aula com uso da realidade virtual / Luciana da Rocha Alves. - 2023.

174f.: il.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Arquitetura. Natal, RN, 2023.

Orientadora: Profa. Dra. Bianca Carla Dantas de Araújo.

Coorientador: Prof. Dr. rer. nat. Michael Vorländer.

1. Acústica arquitetônica - Tese. 2. Realidade virtual acústica - Tese. 3. Teste de percepção sonora do usuário - Tese. 4. Acústica subjetiva - Tese. 5. Salas de aula no Brasil - Tese. I. Araújo, Bianca Carla Dantas de. II. Vorländer, Michael. III. Título.

RN/UF/BSE15

CDU 534.84

Elaborado por Ericka Luana Gomes da Costa Cortez - CRB-15/344

LUCIANA DA ROCHA ALVES

**AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DO RUÍDO E DA QUALIDADE
ACÚSTICA NO DESEMPENHO COGNITIVO DO USUÁRIO DE SALA
DE AULA COM USO DA REALIDADE VIRTUAL**

Tese apresentada ao curso de doutorado do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito à obtenção do título de Doutora em Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em: 17/07/2023

BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Bianca Carla Dantas de Araújo
Orientadora
Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU/UFRN

Prof Dr rer. nat. Michael Vorländer
Coorientador
Institute for Hearing Technology and Acoustics – RWTH Aachen/Alemanha

Profª Drª Virgínia Maria Dantas de Araújo
Membro interno
Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGAU/UFRN

Prof Dr Alexandre Virginelli Maiorino
Membro interno
Escola de Música da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – EMUFRN

Profª Drª Viviane Suzey Gomes de Melo
Membro externo
Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo – PPGAUP/UFSM

Profª Drª Ranny Loureiro Xavier Nascimento Michalski
Membro externo
Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – FAU/USP

AGRADECIMENTOS

Ao contrário do que se pensa e do que sentimos durante muitos momentos ao longo do doutorado, ninguém produz uma tese sozinho. O processo pode ser solitário e desafiador, mas nunca é vivido sem o apoio de muitas pessoas. Por vezes esse apoio acompanha todo o período até que o último ponto final seja colocado. Outras vezes, é rápido, efêmero, cabe numa palavra ou num abraço. Todas às vezes, porém, ele é importante. Começo meus agradecimentos desta forma para deixar claro que meu coração foi acalmado por muitas vezes nesse processo turbulento e posso (peço desculpas se o fizer!) esquecer de escrever o nome de alguém nesses agradecimentos, mas nunca no meu coração.

Gostaria de agradecer primeiramente à minha orientadora, Bianca Carla Dantas de Araújo, que pode ser traduzida em uma de suas maiores características: incentivadora. Obrigada por caminhar junto comigo nessa jornada e por sempre me incentivar a seguir em frente mesmo em meios a tantas dúvidas, incertezas, mudança de tema, conflitos e uma pandemia no meio do doutorado. Você acalmou meu coração por muitas vezes e é um exemplo em muitos aspectos. Serei sempre sua discípula com muito orgulho!

Agradeço profundamente ao professor Michael Vorländer, meu coorientador, por me aceitar para o doutorado sanduíche no Institute of Hearing Technology and Acoustics (IHTA) da RWTH Aachen University, na Alemanha, e viabilizar minha ida mesmo em meio a uma pandemia. Obrigada por todas as orientações e ajudas, pelas oportunidades de aprendizagem em Aachen, por me apresentar novas técnicas e conhecimentos na acústica, e por me proporcionar uma experiência que jamais esquecerei. Ich werde immer dankbar sein!

Gostaria de agradecer também aos membros avaliadores desta tese, principalmente às professoras Virgínia Maria Dantas de Araújo e Viviane Suzey Gomes de Melo, que acompanharam a evolução do trabalho desde a primeira qualificação e contribuíram com muito conhecimento e discernimento dos caminhos a seguir nas etapas subsequentes. Ao professor Alexandre Virginelli Maiorino e à professora Ranny Loureiro Xavier Nascimento Michalski, meus agradecimentos pelas contribuições que enriqueceram esse trabalho.

Agradeço, também, a todos os participantes dos experimentos realizados, tanto na Alemanha quanto no Brasil. Sem vocês este trabalho não seria possível! Obrigada por suportar os ruídos irritantes e por se dedicarem a fazer um teste difícil, doando seu tempo para contribuir com a ciência. Àqueles que fizeram ambos os testes, um agradecimento ainda mais especial!

Gostaria de agradecer aos professores Aldomar Pedrini, então coordenador do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU), e Rubens Maribondo, Pró-Reitor da

Pró-Reitoria de Pós-graduação (PPg-UFRN), pela ajuda durante o processo para obtenção da bolsa do doutorado sanduíche Capes/PrInt e viabilização da minha ida para a Alemanha. Ao professor George Dantas, coordenador do PPGAU durante o período final dessa tese, meus agradecimentos pelo apoio e por todas as orientações quanto às burocracias que envolvem o doutorado. Agradeço também pela acolhida temporária em seu laboratório!

Às amigas Tamáris Brasileiro, Rebeca Grilo, Marselle Barbo e Roberta Smiderle, que compartilharam comigo essa aventura na montanha-russa chamada doutorado durante todo ou parte desse período: muito obrigada de coração por estarem comigo nos altos e baixos do trajeto! Foram muitas mensagens, muitos áudios, muitos desabafos, muitos suportes e muitas comemorações. Vocês são parte importante dessa minha trajetória! Destas, porém, preciso fazer um agradecimento especial a Tamáris Brasileiro, por essa amizade que começou em um congresso e se tornou uma das mais especiais da vida. Obrigada pelo apoio e pela torcida!

À Marina Cortês e Juliana Moraes, professoras da UFRN e UFPB respectivamente, meu agradecimento por todas as palavras de carinho, pelo apoio, pela energia e risadas contagiantes de ambas. Sei que vocês torceram (e torcem) muito por mim e essa torcida é mútua!

Agradeço a Mariana Francelino, que me escutou discutir o lado emocional do doutorado por muitas vezes e me guiou para entendê-lo melhor. Sem você, esse processo teria sido muito mais difícil.

Gostaria, também, de agradecer aos meus queridos amigos que por muitas vezes compreenderam minhas ausências, me escutaram, me incentivaram e vibraram com minhas conquistas. À Ana Patrícia Furtunato e Fábio França, que tem lugar especial no meu coração e fizeram da prática de exercícios físicos uma constante na minha vida só pelo prazer de encontrá-los no dia a dia. À Ana Caroline Amorim, Ana Raquel Amorim e Acácio Neto, que escutaram muitas reclamações e desabafos, rezaram por mim e me fizeram rir de maneira constante, como têm feito por vários anos desde a época da escola. E à Karine Lucena, Mayara Silveira, Aline Bonfim e Felipe Medeiros, que são amigos com quem posso contar mesmo nesse vai e vem inconstante da vida. Vocês todos fazem a vida ser mais leve! Sou grata por vocês.

I would like to thank my dear friends in Aachen, especially Shaimaa Doma, Anne Heimes, Jonas Heck, Atefeh Karimi, Patrick Mager e Dominik Girisgen. You made my time in Aachen special and more fun! My special thanks go to Lukas Aspöck, academic director, and all my colleagues at IHTA, who were always kind and helpful throughout my stay in Aachen.

Por fim, agradeço à minha família, principalmente à minha mãe, que sempre me incentivou a buscar o que eu desejava e que sempre ensinou que educação é o melhor investimento. Mainha,

esse título também é seu! Ao meu pai, que contava os dias para a minha volta da Alemanha mesmo me incentivando a ir, e às minhas irmãs, Luana e Luiza, que me deram, durante o período do meu doutorado, meus maiores presentes da vida: Júlia, Tomás, Beatriz, Samuel e João.

A todos que me incentivaram durante toda essa trajetória, aos que me acharam corajosa ou louca por enfrentar um doutorado sanduíche em meio a uma pandemia, aos que contribuíram com meus experimentos seja participando seja divulgando, meu muito obrigada!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

Muitas das atividades realizadas por seres humanos requerem um certo grau de atenção e concentração que podem ser influenciados pelo ambiente ao qual eles estão expostos. A acústica de um ambiente, seja o isolamento ou o condicionamento acústico, pode interferir no desempenho cognitivo das pessoas, influenciando seu sucesso em atividades que requerem mais concentração. A sala de aula é um exemplo de ambiente que, dentre outras características, deve ter uma acústica adequada para propiciar aos alunos um ambiente satisfatório para as funções do ensino-aprendizagem. Diversos estudos apontam que o processo de ensino-aprendizado pode ser prejudicado pela acústica insatisfatória da sala de aula, que deteriora o entendimento da fala do professor por parte do aluno, além de causar efeitos fisiológicos, como o stress e a fadiga. No Brasil, a atenção para o tratamento acústico de salas de aula pode ser considerada recente e ainda pouco abrangente, podendo a sua importância não ser percebida inclusive pelos alunos que nunca estudaram em sala de aula com acústica adequada, portanto a sala de aula foi usada para aplicação desta pesquisa. O objetivo geral desta tese é avaliar a interferência do ruído externo sob diferentes condições acústicas da sala, através de combinações entre níveis de isolamento e condicionamento acústicos, no desempenho cognitivo de usuários em salas de aula. Os objetivos específicos podem ser elencados como: 1 – Analisar o condicionamento acústico de uma sala de aula real, através de medições e simulações para embasar auralizações em diferentes condições sonoras; 2 – Avaliar, em ambiente de realidade virtual, a influência de diferentes níveis de isolamento e condicionamento acústicos, através de auralizações, na atenção do estudante; 3 – Avaliar a interferência de diferentes tipos de ruídos, comuns em ambientes educacionais, no nível de atenção do usuário, no ambiente virtual; e 4 – Comparar os resultados obtidos através de testes cognitivos com a percepção subjetiva dos participantes. A presente pesquisa aborda um estudo quali-quantitativo, cujos procedimentos metodológicos envolvem medições e simulações acústicas, auralizações, criação de ambiente em realidade virtual, aplicação de teste de rememoração seriada e análises estatísticas com testes de hipóteses. O estudo piloto foi realizado na Alemanha (n=16) e replicado como experimento objeto no Brasil com outro grupo de participantes (n=17) utilizando-se ruído de tráfego como o ruído residual para o teste. O isolamento e o condicionamento acústicos foram simulados em duas condições, sendo uma satisfatória e outra insatisfatória para cada um dos parâmetros. Essas condições foram combinadas entre si no processo de auralização, do inglês *auralization*, para realização de testes, além da condição “silêncio”, cujo áudio reproduzia ruído rosa a fim de mascarar possíveis ruídos intrusos do ambiente real. Os resultados do estudo piloto indicam que houve uma alta variabilidade na taxa de acertos entre participantes em todas as condições, que apresentaram uma média de acertos semelhantes entre si. Foram avaliados fatores de fadiga e de tempo de resposta ao experimento, que não demonstraram ter uma tendência de comportamento de acordo com a ordem de realização do teste. Um fator observado no estudo foi a importância de variar a gravação de áudio para que a repetição cíclica não condicionasse o participante a prever eventos sonoros, situação que não aconteceria em situação real. Desta forma, um novo teste, dessa vez realizado com ruído de conversa, considerou uma gravação de maior duração. Os resultados desse teste (n=44) também apresentaram médias semelhantes entre as distintas condições acústicas. No entanto, foi possível observar variações no conjunto de resultados em cada uma dessas condições, indicando que o ruído residual de conversa influencia mais no desempenho cognitivo quando o isolamento é ruim, visto que as taxas de acerto foram menores nessas condições. O condicionamento acústico também indicou influência, de modo que os resultados das taxas de acerto foram mais altos com o teste sob ruído de conversa quando essa não era inteligível. Considerando apenas os experimentos realizados no Brasil, os resultados de ambos os testes sob diferentes tipos de ruído foram comparados entre si, resultando em uma interferência maior do ruído de conversa no desempenho cognitivo dos usuários em comparação ao ruído de tráfego.

Palavras-chave: realidade virtual acústica, teste de percepção sonora do usuário, acústica subjetiva, salas de aula no Brasil.

EVALUATION OF THE INTERFERENCE OF NOISE AND ACOUSTIC QUALITY ON THE COGNITIVE PERFORMANCE OF CLASSROOM USERS IN VIRTUAL REALITY

ABSTRACT

Many of the activities performed by human beings require a certain degree of attention and concentration that can be influenced by the environment where they are. The acoustics of an environment, whether insulation or room acoustic, can interfere with the cognitive performance of people, influencing their success in activities that require more concentration. The classroom is an example of an environment that, among other characteristics, must have adequate acoustics to provide students with a satisfactory environment for teaching-learning functions. Several studies indicate that the teaching-learning process can be impaired by unsatisfactory classroom acoustics, which deteriorates the students' understanding of the teacher's speech, besides causing physiological effects, such as stress and fatigue. In Brazil, attention to the acoustic treatment of classrooms can be considered recent and still not very extensive, and its importance may not be perceived even by students who have never studied in a classroom with proper acoustics, therefore the classroom was used for the application of this research. The general objective of this thesis is to evaluate the interference of external noise under different room acoustic conditions, through combinations of insulation levels and acoustic conditioning, on the cognitive performance of users in classrooms. The specific objectives can be listed as: 1 - To analyze the room acoustics of a real classroom through measurements and simulations to support auralizations in different sound conditions; 2 - To evaluate, in a virtual reality environment, the influence of different levels of sound insulation and room acoustics on student attention through auralizations; 3 - To evaluate the interference of different types of noises, common in educational spaces, on the user's level of attention, in the virtual environment; and 4 - To compare the results obtained through cognitive tests with the subjective perception of the participants. The present research addresses a quali-quantitative study, whose methodological procedures involve acoustic measurements and simulations, auralizations, creation of virtual reality environment, application of serial recall test and statistical analysis with hypothesis testing. A pilot study was conducted in a virtual reality environment, with five different acoustic conditions, to evaluate the influence of noise on users regarding these conditions through a cognitive performance test. Acoustic insulation and conditioning were simulated in two conditions, one being satisfactory and one unsatisfactory for each of the parameters. These conditions were combined with each other in the auralization process, in addition to the "silent" condition, whose audio reproduced pink noise in order to mask possible intrusive noises from the real environment. The pilot study was conducted in Germany (n=16) and replicated as an object experiment in Brazil with another group of participants (n=17) using traffic noise as the residual noise for the test. The results of this study indicate that there was a high variability in the hit rate among participants in all conditions, who had similar mean hits among themselves. Factors of fatigue and response time to the experiment were evaluated, and were not shown to have a trend in behavior according to the order in which the test was taken. One factor observed in the study was the importance of varying the audio recording so that cyclic repetition does not condition the participant to predict sound events, a situation that would not happen in a real situation. Thus, a new test, this time conducted with conversational noise, considered a longer duration recording. The results of this test (n=44) also presented similar averages between the acoustic conditions. However, it was possible to observe variations in the set of results in each of these conditions, indicating that residual conversation noise influences cognitive performance more when isolation is poor, since hit rates were lower in these conditions. Room acoustic also indicated influences, so that the results of the hit rates were higher with the test under conversational noise when the sound was unintelligible. Considering only the experiments conducted in Brazil, the results of both tests under different types of noise were compared with each other, resulting in a greater interference of conversation noise on the cognitive performance of users compared to traffic noise.

Keywords: acoustic virtual reality, user sound perception test, subjective acoustics, classrooms in Brazil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Relação entre frequência sonora e comprimento de onda.	28
Figura 2 - Curvas de níveis de audibilidade humana.	28
Figura 3 - Comportamento da onda sonora ao incidir em uma superfície, como uma parede.	29
Figura 4 - Resposta impulsiva de uma sala.	30
Figura 5 - Propagação do som em uma sala e sua resposta impulsiva.	31
Figura 6 - Relação da Inteligibilidade da fala com o parâmetro Definição.	32
Figura 7 - Vias de transmissão do ruído aéreo entre ambientes “a” e “b”.	34
Figura 8 - Processo de medição e filtragem do nível de pressão sonora seguido por curva de ponderação A.	36
Figura 9 - Processo de aurilização e implementação em RV, quando considerada a acústica de edifícios.	39
Figura 10 - Exemplo de índices de redução sonora de acordo com a angulação da fonte sonora externa.	39
Figura 11 - Planos de coordenada do sistema relacionado à cabeça (HRTF).	40
Figura 12 - Processo do teste seriado de recuperação de memória do tipo verbal.	42
Figura 13 - Planta de locação da UFRN com destaque para setores de aulas teóricas (amarelo), com destaque para o setor IV (vermelho).	43
Figura 14 - Circulação central que interliga os blocos do setor de aulas teóricas IV da UFRN. ...	44
Figura 15 - Planta baixa com destaque para a Sala C05 (a) e imagem de satélite (b) do Setor IV de aulas da UFRN.	44
Figura 16 - Planta baixa da sala de aula C05, setor IV, UFRN.	45
Figura 17 - Corte longitudinal da sala de aula C05, setor IV, UFRN, mostrando a parede da fachada vista por dentro da sala.	45
Figura 18 - Posições de fonte-receptor utilizadas na medição da resposta impulsiva da Sala C05.	46
Figura 19 - Sistema de equipamentos utilizados para medição da resposta impulsiva na sala de aula C05.	48
Figura 20 - Foto da sala de aula C05 durante medição de resposta impulsiva com microfone na Posição P ₀₂	48
Figura 21 - Valores recomendados para tempo de reverberação de acordo com BB93 (2015).	50
Figura 22 - Relação entre TR em 500 Hz e outras frequências sonoras.	51

Figura 23 - Área de Aachen-Schanz com destaque para local do ponto de gravação do ruído de tráfego.	51
Figura 24 - Gráfico da amplitude no tempo do áudio da gravação de ruído de tráfego.	52
Figura 25 - Gráfico do tipo Espectograma do áudio da gravação de ruído de tráfego.....	52
Figura 26 - Gráfico da amplitude no tempo do áudio da gravação de ruído de conversa.	53
Figura 27 - Gráfico do tipo Espectograma do áudio da gravação de ruído de conversa.	53
Figura 28 - Posição do microfone para captação de áudio de conversas no corredor central do Setor IV.	53
Figura 29 - Sistema utilizado para gravação do áudio composto por microfone, placa de som e laptop.	53
Figura 30 - Corte longitudinal da Sala C05 com indicação das áreas em que a parede foi dividida.	54
Figura 31 - <i>Plot</i> da localização da energia proveniente do filtro na Posição 8.	55
Figura 32 - <i>Plot</i> da localização da energia proveniente do filtro na Posição 3.	55
Figura 33 - Modelo virtual da Sala C05 criado a partir do software Sketchup.	56
Figura 34 - Vista do usuário a partir da localização do Receptor P01 no modelo do software Sketchup.	57
Figura 35 - Cena inicial vista pelo participante no ambiente de realidade virtual no software Unity®.	57
Figura 36 - Curva de resposta do fone de ouvido após equalização.	58
Figura 37 - Conjunto de equipamentos utilizados pelos participantes durante o teste.	58
Figura 38 - Cabeça artificial utilizada para calibração dos níveis de pressão sonora emitidos pelos fones de ouvido nos testes.	59
Figura 39 - Equipamentos utilizados na calibração do nível de pressão sonora nos fones de ouvido através da cabeça artificial.	59
Figura 40 - Equipamentos utilizados na calibração para reprodução em outras condições.	60
Figura 41 - Medição de nível de pressão sonora sendo realizada através da metodologia para calibração em outras condições.	60
Figura 42 - Equipamentos utilizados na aplicação do experimento no Brasil (HMD, controle remoto, placa de som e fones de ouvido).	60
Figura 43 - Procedimento de calibração de nível de pressão sonora equivalente nos fones de ouvido usando orelha impressa em 3D.	60
Figura 44 - Imagem que o participante vê durante a etapa do teste na qual deve apertar botões dos dígitos na mesma ordem da memorização.	61

Figura 45 - Participante durante aplicação do teste.....	62
Figura 46 - Cena vista pelo participante durante as perguntas do questionário.....	62
Figura 47 - Participante realizando o teste no IMD-UFRN.....	64
Figura 48 - Gráfico da Relação Sinal-Ruído (SNR) medida em cada ponto receptor.....	68
Figura 49 - Gráfico da Relação Resposta Impulsiva-Ruído (INR) medida em cada ponto receptor.	69
Figura 50 - Gráfico do Tempo de Reverberação (T_{30}) medido em cada ponto receptor.	69
Figura 51 - Gráfico do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) medido em cada ponto receptor. .	70
Figura 52 - Gráfico comparativo entre T_{30} medido e recomendado pela BB93.	71
Figura 53 - Gráfico da Definição (D_{50}) medida em cada ponto receptor.....	71
Figura 54 - Gráfico comparativo de T_{30} entre medição e simulação.....	72
Figura 55 - Gráfico comparativo de T_{30} entre valores medidos e simulados através do RT_{target}	73
Figura 56 - Gráfico comparativo entre condições simuladas para atingir TR ideal.....	74
Figura 57 - Gráfico da resposta impulsiva baseada em situação real usada para aurilização da condição IS_ruim.....	75
Figura 58 - Gráfico da resposta impulsiva baseada em situação hipotética usada para aurilização da condição IS_boa.....	75
Figura 59 - Gráfico do filtro de isolamento baseado em situação hipotética usado para aurilização da condição IS_boa.	75
Figura 60 - Gráfico do filtro de isolamento baseado em situação real usado para aurilização da condição IS_ruim.....	76
Figura 61 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto ao gênero.	77
Figura 62 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à idade.	77
Figura 63 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à escolaridade.....	77
Figura 64 - Gráficos de taxas de acerto e médias (em vermelho) por condição acústica de cada participante na Alemanha.	78
Figura 65 – Gráfico <i>boxplot</i> da média de acertos por condição acústica considerando respostas nulas.	82
Figura 66 - Gráfico <i>boxplot</i> da média de acertos por condição acústica desconsiderando respostas nulas.....	82
Figura 67 - Gráfico <i>boxplot</i> de acertos por condição acústica considerando taxas de acerto nulas.	85
Figura 68 - Gráfico de quantidade de repetições por taxa de acerto em cada condição acústica. .	85

Figura 69 - Gráfico de quantidade de repetições por grupo de taxa de acerto em cada condição acústica.....	87
Figura 70 - Gráfico de média de acertos por participante em cada condição acústica.	88
Figura 71 - Gráfico de média de acertos por condição acústica por cada participante.....	88
Figura 72 - Gráfico das respostas à “Questão 01 - Esta sala de aula soa barulhenta para você?” .	90
Figura 73 - Gráfico das respostas à "Questão 02 - Quão reverberante é essa sala de aula para você?"	90
Figura 74 - Gráfico das respostas à "Questão 03 – Como você percebe a duração do tempo de reverberação nessa sala de aula?"	91
Figura 75 - Gráfico das respostas à "Questão 04 – Quão claro o ruído de fundo soa para você?"	91
Figura 76 - Gráfico das respostas à "Questão 05 – Quão irritado(a) você se sentiu nessa sala de aula?"	92
Figura 77 - Gráfico das respostas à "Questão 06 – Quão concentrado(a) você precisou ficar para finalizar o teste nessa sala de aula?"	92
Figura 78 - Gráfico das respostas à "Questão 07 – Quão difícil foi o teste nessa sala de aula?" ...	94
Figura 79 - Gráfico das respostas à "Questão 08 – Quão perturbador foi o ruído de fundo nessa sala de aula para você?"	94
Figura 80 - Gráfico das respostas à "Questão 09 – Quanto esforço você precisou fazer para realizar a tarefa nessa condição?"	94
Figura 81 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto ao gênero.	95
Figura 82 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à idade.	95
Figura 83 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à escolaridade.	96
Figura 84 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à realização de audiometria.....	96
Figura 85 - Gráficos de taxas de acerto e médias por condição acústica de cada participante no Brasil.....	96
Figura 86 – Gráfico <i>boxplot</i> da média de acertos por condição acústica considerando respostas nulas.	100
Figura 87 – Gráfico <i>boxplot</i> da média de acertos por condição acústica desconsiderando respostas nulas.....	100
Figura 88 – Gráfico <i>boxplot</i> de acertos por condição acústica considerando taxas de acerto nulas.	100
Figura 89 - Gráfico de quantidade de repetições por taxa de acerto em cada condição acústica.	101

Figura 90 - Gráfico de quantidade de repetições por grupo de taxa de acerto em cada condição acústica.....	102
Figura 91 - Gráfico de média de acertos por participante em cada condição acústica.	102
Figura 92 - Gráfico de média de acertos por condição acústica por cada participante.....	103
Figura 93 - Gráfico das respostas à "Questão 01 – Esta sala de aula soa barulhenta para você?"	104
Figura 94 - Gráfico das respostas à "Questão 02 – Quão reverberante é essa sala de aula para você?"	104
Figura 95 - Gráfico das respostas à "Questão 03 – Como você percebe a duração do tempo de reverberação nessa sala de aula?"	104
Figura 96 - Gráfico das respostas à "Questão 04 – Quão claro o ruído de fundo soa para você?"	104
Figura 97 - Gráfico das respostas à "Questão 05 – Quão irritado(a) você se sentiu nessa sala de aula?"	105
Figura 98 - Gráfico das respostas à "Questão 06 – Quão concentrado(a) você precisou ficar para finalizar o teste nessa sala de aula?"	105
Figura 99 - Gráfico das respostas à "Questão 07 – Quão difícil foi o teste nessa sala de aula?" .	106
Figura 100 - Gráfico das respostas à "Questão 08 – Quão perturbador foi o ruído de fundo nessa sala de aula para você?"	106
Figura 101 - Gráfico das respostas à "Questão 09 – Quanto esforço você precisou fazer para realizar a tarefa nessa condição?"	106
Figura 102 – Gráfico <i>boxplot</i> da média de acertos por condição acústica considerando respostas nulas.....	108
Figura 103 – Gráfico <i>boxplot</i> da média de acertos por condição acústica desconsiderando respostas nulas.....	108
Figura 104 – Gráfico <i>boxplot</i> de acertos por condição acústica considerando taxas de acerto nulas.	109
Figura 105 - Gráfico de quantidade de repetições por taxa de acerto em cada condição acústica.	109
Figura 106 - Gráfico de quantidade de repetições por grupo de taxa de acerto em cada condição acústica.....	110
Figura 107 - Gráfico <i>boxplot</i> das médias de taxas de acertos dos participantes da Alemanha sem considerar acertos aleatórios.	111

Figura 108 - Gráfico <i>boxplot</i> das médias de taxas de acertos dos participantes do Brasil sem considerar acertos aleatórios.	111
Figura 109 - Gráfico <i>boxplot</i> da média de acertos por condição acústica do ruído de tráfego considerando respostas nulas (mesmo gráfico da Figura 102).....	112
Figura 110 - Gráfico <i>boxplot</i> da média de acertos por condição acústica do ruído de tráfego desconsiderando respostas que tiveram erros nos dois primeiros dígitos.....	112
Figura 111 - Gráfico <i>boxplot</i> das condições acústicas respondidas nas Posições 2 e 3 da ordem do teste.....	113
Figura 112 - Gráfico do tempo de resposta dos participantes por condição em ordem de teste.	115
Figura 113 - Gráfico de vezes em que o tempo foi esgotado por participante em cada condição em ordem de teste.	115
Figura 114 - Gráfico de taxa de tempo esgotado relativa ao total de repetições respondidas por condição.....	115
Figura 115 - Gráfico de taxa de tempo esgotado relativa ao total de repetições respondidas no grupo da Alemanha.....	116
Figura 116 - Gráfico de taxa de tempo esgotado relativa ao total de repetições respondidas no grupo do Brasil.	116
Figura 117 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto ao gênero.	117
Figura 118 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à idade.	117
Figura 119 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à escolaridade.....	117
Figura 120 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à realização de audiometria. ...	117
Figura 121 - Gráficos de taxas de acerto e médias por condição acústica de cada participante no Brasil sob ruído de conversa (BRc).....	118
Figura 122 – Gráfico <i>boxplot</i> da média de taxas de acerto analisadas a partir dos dados brutos. .	125
Figura 123 – Gráfico <i>boxplot</i> da média de taxas de acerto analisadas a partir dos dados brutos considerando intervalo de confiança.	125
Figura 124 – Gráfico <i>boxplot</i> da média de taxas de acerto analisadas desconsiderando dados aleatórios.....	129
Figura 125 – Gráfico <i>boxplot</i> da média de taxas de acerto analisadas desconsiderando dados aleatórios e considerando intervalo de confiança.	130
Figura 126 - Gráfico das respostas à "Questão 01 – Esta sala de aula soa barulhenta para você?"	131
Figura 127 - Gráfico das respostas à "Questão 02 – Quão reverberante é essa sala de aula para você?"	131

Figura 128 - Gráfico das respostas à "Questão 03 – Como você percebe a duração do tempo de reverberação nessa sala de aula?"	132
Figura 129 - Gráfico das respostas à "Questão 04 – Quão claro o ruído de fundo soa para você?"	132
Figura 130 - Gráfico das respostas à "Questão 05 – Quão irritado(a) você se sentiu nessa sala de aula?"	133
Figura 131 - Gráfico das respostas à "Questão 06 – Quão concentrado(a) você precisou ficar para finalizar o teste nessa sala de aula?"	133
Figura 132 - Gráfico das respostas à "Questão 07 – Quão difícil foi o teste nessa sala de aula?"	133
Figura 133 - Gráfico das respostas à "Questão 08 – Quão perturbador foi o ruído de fundo nessa sala de aula para você?"	133
Figura 134 - Gráfico das respostas à "Questão 09 – Quanto esforço você precisou fazer para realizar a tarefa nessa condição?"	134
Figura 135 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 01a em ambos os testes.	136
Figura 136 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 02a em ambos os testes.	136
Figura 137 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 03a em ambos os testes.	136
Figura 138 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 04a em ambos os testes.	136
Figura 139 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 05a em ambos os testes.	137
Figura 140 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 06a em ambos os testes.	137
Figura 141 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 07a em ambos os testes.	137
Figura 142 - Gráfico <i>boxplot</i> da média de taxas de acerto analisadas a partir dos dados brutos...	138
Figura 143 – Gráfico <i>boxplot</i> da média de taxas de acerto analisadas a partir dos dados brutos considerando apenas intervalo de confiança.	140
Figura 144 – Gráfico <i>boxplot</i> da média de taxas de acerto analisadas desconsiderando dados aleatórios.....	141
Figura 145 – Gráfico da média de taxas de acerto analisadas desconsiderando aleatórios e considerando dados do intervalo de confiança.....	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de referência para avaliação, estudo e projeto para salas de aula.	36
Tabela 2 - Resumo das variáveis utilizadas nas medições da resposta impulsiva.....	47
Tabela 3 - Condições acústicas aurilizadas e suas características.	56
Tabela 4 - Diferença (em módulo) entre T_{30} simulado e medido.	73
Tabela 5 - Características das condições acústicas aurilizadas.....	76
Tabela 6 - Média e análise de variância por participante da Alemanha.	80
Tabela 7 - Média e Mediana com seus respectivos Coeficientes de Variação de cada condição acústica no experimento piloto, em valores percentuais.	81
Tabela 8 - Relação entre quantidade de acertos e taxa de acerto no teste de desempenho cognitivo, em percentual.....	84
Tabela 9 - Exemplos de situações observadas quanto às taxas de acertos.....	86
Tabela 10 - Média e análise de variância por participante do Brasil.....	98
Tabela 11 - Média e Mediana de cada condição acústica no experimento objeto.	99
Tabela 12 - Média e Mediana de cada condição acústica no experimento total com ruído de tráfego.	107
Tabela 13 - Estatísticas dos grupos de participantes da Alemanha, Brasil e geral quando retirados acertos aleatórios.....	111
Tabela 14 - Média e média ajustada de cada participante por condição acústica e estatísticas por condição acústica.....	122
Tabela 15 - Resultados do Teste de Tukey para identificação de diferenças entre condições acústicas considerando a média e a média ajustada pelo intervalo de confiança dos dados brutos.	124
Tabela 16 - Média e média ajustada de cada participante por condição acústica e estatísticas por condição acústica após eliminação de fatores de aleatoriedade.	126
Tabela 17 - Resultados do Teste de Tukey para identificação de diferenças entre condições acústicas considerando a média e a média ajustada pelo intervalo de confiança dos dados sem fatores de aleatoriedade.	129
Tabela 18 - Resultado do teste t-student para comparação pareada entre testes com diferentes ruídos.....	135
Tabela 19 - Resultado do teste t-student para comparação não pareada entre testes com diferentes ruídos.....	137

LISTA DE SIGLAS

BB93	<i>Building Bulletin</i> 93 (Normativa inglesa)
BRIR	<i>Binaural Room Impulse Response</i> (Resposta Impulsiva Binauricular da Sala, em português)
C80	Clareza
$D_{2m,nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 metros da fachada
D_{50}	Definição (neste caso, em 50 milissegundos)
dB	Decibel (unidade de medida)
D_{nT}	Diferença Padronizada de Nível
$D_{nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada
HMD	<i>Head Mounted Display</i> (equivalente a óculos de realidade virtual, em português)
HRTF	<i>Head-Related Transfer Function</i> (Função de Transferência Relacionada à Cabeça, em português)
ILD	<i>Interaural Level Difference</i> (Diferença de Nível Interaural, em português)
IMD	Instituto Metrópole Digital (UFRN)
INR	Rela�o Resposta impulsiva-Ruído (<i>Impulse response-to-noise ratio</i> , em inglês)
ISE	<i>Irrelevant Sound Effect</i> (Efeito do Som Irrelevante, em português)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organiza�o Internacional de Normaliza�o, em português)
ITD	<i>Interaural Time Difference</i> (Diferença de Tempo Interaural, em português)
JND	<i>Just Noticeable Difference</i> (Diferença no limiar do observável, em português)
L_{Aeq}	Nível de Pressão Sonora Equivalente Ponderado em Filtro A
L_{Aeq}	Nível de Pressão Sonora Equivalente, ponderado em filtro A
Pa	Pascal (unidade de medida)
R	�ndice de Redu�o Sonora
RIR	<i>Room Impulse Response</i> (Resposta Impulsiva da Sala, em português)
RV	Realidade virtual

R _w	Índice de Redução Sonora Ponderado
SLM	<i>Sound Level Meter</i> (Medidor de Nível de Pressão Sonora, em português)
SNR	Relação Sinal-Ruído (<i>Signal-to-noise ratio</i> , em inglês)
T30	Tempo de reverberação com decaimento de 30 decibels
TR	Tempo de reverberação
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

INTRODUÇÃO	22
CAPÍTULO 1. REFERENCIAL TEÓRICO.....	26
1.1 ACÚSTICA ARQUITETÔNICA.....	26
1.1.1 <i>Conceitos básicos em acústica arquitetônica</i>	27
1.1.2 <i>Acústica de salas (condicionamento acústico)</i>	30
1.1.3 <i>Acústica de edifícios (isolamento acústico)</i>	33
1.2 AURILIZAÇÃO E REALIDADE VIRTUAL ACÚSTICA.....	37
1.2.1 <i>Aplicação de testes de desempenho cognitivo relacionados à avaliação acústica</i>	41
CAPÍTULO 2. METODOLOGIA	43
2.1 MEDIÇÕES ACÚSTICAS.....	43
2.1.1 <i>A sala de aula escolhida</i>	43
2.1.2 <i>Medição de resposta impulsiva</i>	46
2.2 SIMULAÇÃO E AURILIZAÇÃO PARA REALIDADE VIRTUAL.....	49
2.2.1 <i>Simulação da RIR da sala de aula</i>	49
2.2.2 <i>Aurilização de sons externos comuns em escolas</i>	51
2.2.3 <i>Filtros de isolamento acústico</i>	54
2.2.4 <i>Condições acústicas</i>	55
2.2.5 <i>Modelagem do ambiente em realidade virtual (RV)</i>	56
2.3 TESTES DE DESEMPENHO COGNITIVO (“SERIAL RECALL TEST”).....	61
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DO TESTE SUBJETIVO.....	64
CAPÍTULO 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
3.1 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE RESPOSTA IMPULSIVA.....	68
3.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES E AURILIZAÇÕES.....	72
3.3 RESULTADOS DO TESTE DE DESEMPENHO COGNITIVO COM RUÍDO DE TRÁFEGO (ESTUDO PILOTO NA ALEMANHA).....	76
3.3.1 <i>Caracterização dos participantes</i>	77
3.3.2 <i>Análise do estudo piloto</i>	77
3.4 RESULTADOS DOS TESTES DE DESEMPENHO COGNITIVO COM RUÍDO DE TRÁFEGO (EXPERIMENTO OBJETO NO BRASIL).....	95
3.4.1 <i>Caracterização dos participantes</i>	95

3.4.2	<i>Avaliação dos resultados dos dados brutos</i>	96
3.5	RESULTADOS DO TESTE DE DESEMPENHO COGNITIVO COM RUÍDO DE TRÁFEGO	
(GERAL)	107	
3.6	RESULTADO DOS TESTES DE DESEMPENHO COGNITIVO COM RUÍDO DE CONVERSA	
(EXPERIMENTO OBJETO NO BRASIL)	116
3.6.1	<i>Caracterização dos participantes</i>	117
3.6.2	<i>Avaliação dos dados brutos coletados</i>	118
3.6.3	<i>Avaliação dos dados após eliminação de fatores de aleatoriedade de resposta</i>	126
3.6.4	<i>Resultados dos questionários</i>	131
3.7	COMPARAÇÃO ENTRE TESTES COM RUÍDO DE TRÁFEGO E RUÍDO DE CONVERSA	
	135	
3.7.1	<i>Resultados dos testes pareados (realizados pelos mesmos participantes)</i>	135
3.7.2	<i>Resultados dos testes com diferentes ruídos</i>	137
CAPÍTULO 4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146
	APÊNDICE A	151
	APÊNDICE B	152
	APÊNDICE C	158
	APÊNDICE D	161

INTRODUÇÃO

A arquitetura pode provocar diversos tipos de impactos aos seus usuários, sendo vários deles relacionados ao conforto no ambiente. Algumas situações, como ambientes muito barulhentos, muito quentes ou ergonomicamente mal dimensionados, são facilmente percebidas pelos usuários em momentos de desconforto. Quando em situação de conforto, muitos deles não percebem como a arquitetura influencia positivamente o ambiente e o bem-estar do usuário.

Alguns ambientes exigem que o usuário esteja em conforto para desempenhar bem as suas funções. A sala de aula, por exemplo, deve apresentar uma arquitetura que permita o bom funcionamento da sua principal tarefa: o ensino-aprendizagem. Kowaltowski, Moreira e Deliberador (2012) descrevem como a arquitetura pode influenciar no desempenho do aluno, tendo impacto significativo sobre o aprendizado, assim como o comportamento. Os autores defendem que a arquitetura escolar deve ser resistente ao uso intenso e ao tempo, mas também deve prezar pela qualidade humana no ambiente.

Uma das características arquitetônicas que as salas de aula devem prezar é a qualidade acústica. Sem ela, a função ensino-aprendizagem, que deve ser priorizada pelo ambiente, é deteriorada. Estudos como os de Seep et al. (2002), Tiesler, Machner e Brokmann (2015) e Lubman e Sutherland (2001) apontam que o processo de ensino-aprendizado pode ser prejudicado pela acústica insatisfatória da sala de aula, comprometendo o entendimento da fala por parte dos alunos e causando efeitos fisiológicos negativos, como o aumento do stress e da fadiga, tanto nos alunos quanto nos professores.

Em ambientes em que a comunicação é essencial, como salas de aula, a boa inteligibilidade da fala é muito importante para o desempenho do aluno, que consegue compreender o discurso do professor sem gerar um esforço excessivo. Esse parâmetro está ligado principalmente às condições acústicas da sala de aula, através do tempo de reverberação, e do nível de ruído no ambiente, ao qual aquela sala está exposta em comparação com o nível da voz do professor (relação sinal-ruído) (SEEP et al., 2002). Isso indica que a qualidade do entendimento da fala dentro de uma sala de aula está ligada tanto a características internas da sala quanto ao nível de ruído ambiental, ou seja, tanto o condicionamento quanto o isolamento acústicos são importantes para o bom entendimento da fala.

A influência da qualidade dos dois fatores raramente é avaliada em conjunto ou variando entre si, visto que são muitas as variáveis que podem influenciar em ambos e que muitos estudos são conduzidos em países cujo clima temperado ou frio não permite a abertura de janelas e o contato mais direto com o ruído externo, havendo predominância na avaliação do ruído interno, quando estudado ou avaliado por normativas, como nos estudos conduzidos na Europa por Astolfi et al. (2019); Dockrell e Shield (2006); Klatte, Bergström e Lachmann (2013); Klatte, Lachmann e Meis (2010); Shield et al. (2015) e Visentin et al. (2019). Alguns estudos relatam que o efeito da relação sinal-ruído (SNR) é tido como mais importante para a boa inteligibilidade da fala (CHOI, 2020), indicando que o ruído residual, muitas vezes relacionado ao isolamento sonoro, é um fator relevante para um problema que está intrinsicamente ligado ao condicionamento acústico.

Contudo, o ruído está presente em praticamente todas as atividades desempenhadas no dia a dia, não podendo ser totalmente desprezado em função de obter uma maior relação sinal-ruído quando necessário. A depender das características do som ou ruído e da própria atividade desenvolvida, mesmo os sons de intensidade baixa a moderada podem provocar detrimentos ao desempenho da pessoa na atividade realizada (KLATTE; BERGSTRÖM; LACHMANN, 2013). Em alguns casos, hábitos culturais e sociais estão intimamente ligados à percepção do ruído como um fator de distração na atividade.

Em salas de aula, algumas atividades não têm como foco principal a fala do professor, ainda exigindo grande esforço de concentração e atenção dos alunos, assim como do próprio professor, como comumente acontece durante aplicação de atividades avaliativas do tipo prova escrita. Alguns estudos, como o de Schlittmeier et al. (2012), indicam que a memória de curto prazo é sensível aos efeitos negativos do ruído ainda que a atividade não seja focada em algum tipo de som, como a explicação de um professor sobre determinado tema. O estudo de Connolly et al. (2013) indica que as normas que indicam os parâmetros acústicos para salas de aulas consideram-nas desocupadas e desconsideram as complexidades da experiência subjetiva dos estudantes em seu ambiente escolar como um todo no que concerne à acústica.

Os mesmos autores abordam que, em pesquisa com adolescentes, os estudantes classificam o seu nível de perturbação como menor em salas que são acusticamente tratadas quando comparadas com salas não tratadas no que diz respeito ao ruído proveniente de ambientes adjacentes, o que impacta diretamente na concentração e no desempenho cognitivo dos estudantes (CONNOLLY et al., 2013).

Tendo em vista a problemática apresentada, esta tese questiona: como os alunos percebem a influência dos parâmetros de condicionamento e isolamento acústicos relacionados entre si em uma sala de aula? Quando considerados os ruídos externos à sala de aula, a percepção dos alunos é mais influenciada por fatores de condicionamento ou isolamento acústico? Há uma correspondência entre o desempenho cognitivo dos alunos e a qualidade acústica da sala de aula?

Diante destas perguntas, há a hipótese de que os alunos tendem a perceber mais as características voltadas ao isolamento acústico do que ao condicionamento acústico, não identificando relação entre eles. Há também a hipótese de que o desempenho cognitivo dos alunos é influenciado pela qualidade acústica da sala de aula, mas que não há uma interdependência clara entre os fatores. Esta tese tem, portanto, como objeto de estudo apontar a relação entre a percepção do usuário e a qualidade acústica das salas de aula. Para tal, o universo de estudo é uma sala padrão da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

O objetivo geral desta tese é avaliar a interferência do ruído externo sob diferentes condições acústicas da sala, através de combinações entre níveis de isolamento e condicionamento acústicos, no desempenho cognitivo de usuários em salas de aula.

Os objetivos específicos podem ser elencados como:

1 – Analisar o condicionamento acústico de uma sala de aula real através de medições e simulações para embasar aurilizações em diferentes condições sonoras;

2 – Avaliar, em ambiente de realidade virtual, a influência de diferentes níveis de isolamento e condicionamento acústicos, através de aurilizações, na atenção do usuário;

3 – Avaliar a interferência de diferentes tipos de ruídos, comuns em ambientes educacionais, no nível de atenção do estudante em ambiente virtual com distintas condições sonoras; e

4 – Comparar os resultados obtidos através de testes cognitivos com a percepção subjetiva dos participantes.

A presente pesquisa se torna relevante em contexto internacional por trazer contribuições para os estudos sobre acústica de salas de aula ao relacionar a percepção do usuário, na área da acústica subjetiva, com metodologias que trabalham com aurilização aplicada à realidade virtual, áreas relativamente recentes no campo da acústica e que ainda podem ser muito exploradas, além de incorporar técnicas e metodologias internacionais em estudos nacionais através da experiência

do doutorado sanduíche. No contexto nacional, a pesquisa difunde metodologias ainda pouco utilizadas no país e traz inovações ao avaliar a interação de parâmetros de condicionamento e isolamento acústicos sob a ótica da percepção do usuário. É importante ressaltar que poucos trabalhos estudam os parâmetros de isolamento e condicionamento acústicos relacionados entre si e avaliados num mesmo teste de forma concomitante. Além disso, este trabalho contribui para as formas de análise dos resultados obtidos com esse tipo de teste e com a difusão dessa metodologia em âmbito nacional.

A presente pesquisa possui uma abordagem quali-quantitativa de natureza aplicada, cuja metodologia engloba procedimentos de pesquisa bibliográfica, pesquisa de campo e pesquisa experimental. Esta última está ligada à pesquisa de campo, que fornece dados para os experimentos realizados.

O primeiro capítulo desta tese trata do referencial teórico, que engloba a acústica arquitetônica, apresentando conceitos básicos e aplicados, e a realidade virtual aplicada ao projeto acústico abordando o uso de aurilização, tópico abordado para subsidiar a metodologia utilizada. Nesse capítulo os tópicos são abordados de modo geral e relacionados à sala de aula, visto que este foi o ambiente utilizado para a aplicação da pesquisa.

O segundo capítulo apresenta a metodologia utilizada nesta pesquisa. O capítulo é dividido de acordo com as etapas da pesquisa, sendo elas: medições acústicas, simulação e aurilização para realidade virtual, testes de desempenho cognitivo e análise estatística.

O terceiro capítulo apresenta os resultados e discussões desta pesquisa. Nesse capítulo, os tópicos são divididos entre o estudo piloto e os dois estudos objeto realizados. Por fim, esses estudos são comparados entre si.

Por fim, são apresentadas as considerações finais referentes à tese com indicações para futuros estudos e as referências bibliográficas. Os apêndices são apresentados ao final da tese, bem como o parecer consubstanciado do Comitê de Ética do Hospital Universitário Onofre Lopes, da UFRN, necessário para a realização dos testes subjetivos desta pesquisa, como anexo.

Capítulo 1. REFERENCIAL TEÓRICO

Para entender como a arquitetura pode influenciar no desempenho cognitivo sob determinadas condições acústicas ocasionadas pelo ambiente, faz-se necessário entender alguns conceitos relativos à acústica arquitetônica, à integração da auralização ao ambiente em realidade virtual e ao tipo de teste utilizado para o experimento realizado nesta pesquisa. Este capítulo mostra um apanhado de informações que guiará o leitor e facilitará a compreensão da pesquisa.

1.1 Acústica arquitetônica

A acústica arquitetônica envolve fatores relacionados ao condicionamento e ao isolamento acústicos. O condicionamento está relacionado à acústica de salas, cujos estudos apresentam diversos parâmetros para condições ideais que envolvem, principalmente, ambientes voltados para fala e música. Enquanto isso, o isolamento acústico está relacionado à acústica de edifícios e pode envolver tanto a transmissão sonora entre ambientes por ruído aéreo quanto por ruído de impacto, além de considerar outros ambientes da edificação ou o meio urbano como ambientes adjacentes para o estudo de transmissão sonora (VORLÄNDER et al., 2014).

Para esta tese foi escolhido trabalhar com uma sala de aula como modelo, portanto são apresentados conceitos e parâmetros voltados para o uso desse ambiente. A sala de aula é um local que requer uma acústica adequada, visto que esta possibilita aos estudantes uma melhor compreensão e retenção do conhecimento, de modo que aprendem melhor e mais rápido. O sucesso acadêmico requer concentração, que pode ser auxiliada pelo projetista da sala de aula ao minimizar distrações causadas pelo ruído residual e suportar o diálogo através da própria arquitetura do ambiente (WOOLWORTH; PHINNEY, 2015). Por ruído residual entende-se todo o som que seja remanescente ao se suprimir som(ns) específico(s) em determinada posição e situação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). De modo aplicado, qualquer ruído que intervenha na concentração do estudante que não seja o foco principal: a fala do professor ou dos colegas nos questionamentos e debates em sala de aula.

Para melhor compreensão dos conceitos básicos da acústica arquitetônica voltados às salas de aula e ambientes de fala, este tópico apresenta uma introdução aos parâmetros acústicos mais importantes, tanto no que concerne ao condicionamento quanto ao isolamento acústicos, ambos importantes para este estudo e aplicados diretamente a salas de aula.

1.1.1 *Conceitos básicos em acústica arquitetônica*

Desde as mais científicas até aquelas mais subjetivas, é possível encontrar inúmeras definições a respeito do som ou fenômeno sonoro, como é chamado por alguns autores. Para a arquitetura é importante entender que o som é uma onda mecânica e, portanto, necessita de um meio para se propagar, sendo este o ar ou os próprios elementos constituintes da arquitetura, como sistemas de vedações verticais e horizontais (por exemplo, paredes e lajes). É necessário, também, compreender que o som provoca sensações no aparelho auditivo dos seres humanos, podendo ser considerado agradável ou não, e inteligível ou não. Quando não é agradável, esse som geralmente é considerado ruído. Também deve-se atentar que a acústica arquitetônica sempre englobará uma fonte sonora e um receptor, além da trajetória do som entre um e outro através de um meio.

Alguns aspectos físicos do som, como frequência e amplitude, definem parâmetros acústicos que, por sua vez, podem ser objetivos ou subjetivos. Esses parâmetros possuem, em geral, valores ideais para uma boa percepção sonora. As características e parâmetros sonoros relevantes para este estudo são definidos ao longo deste capítulo.

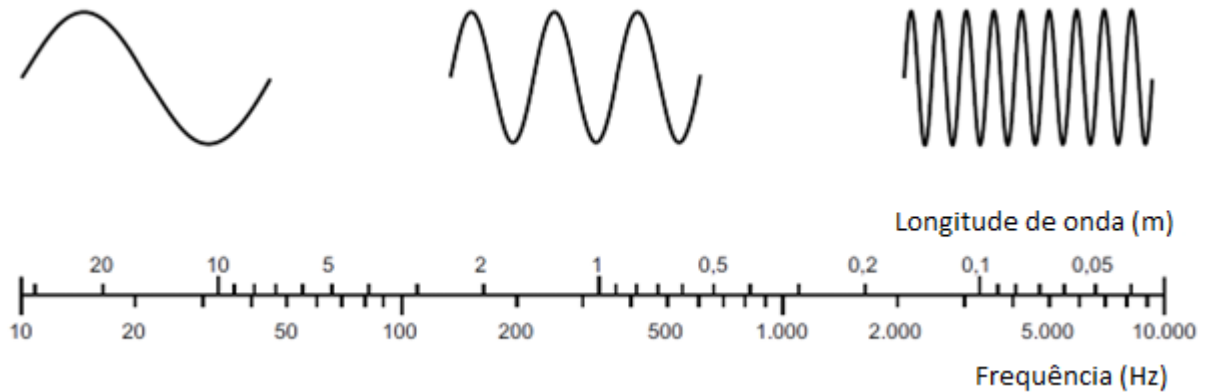
O som é percebido através das vibrações periódicas do ar nas orelhas humanas, sempre associado à três dimensões: tempo, frequência e nível (ASSELINEAU, 2015). O tempo, de acordo com o Sistema Internacional de Unidades, é sempre medido em segundos [s] e será, em geral, associado a outros aspectos físicos ou fatores. A frequência sonora é, por definição, a quantidade de períodos¹ existentes em um segundo de propagação, sendo expressa em Hertz [Hz]. O nível está associado à variação cíclica da pressão ambiente causada pela vibração das moléculas do ar, que, quando maior que o limiar de audição (2×10^{-5} Pa ou 0 dB), é percebido pela orelha humana como som. O nível é representado pela amplitude da onda sonora e está associado à sensação auditiva de intensidade, sendo representado pela escala logarítmica decibel [dB] (BISTAFA, 2011).

Em se tratando da percepção sonora pelos humanos, há um limite nas frequências e níveis escutados pelas pessoas. O intervalo que pode ser percebido pelos humanos varia de 20 a 20k Hz, sendo as ondas sonoras de maior comprimento de onda consideradas sons graves e as de menores, sons agudos (BRANDÃO, 2016). A Figura 1 mostra a relação entre a frequência sonora e o respectivo comprimento de onda, que está diretamente relacionado ao meio de propagação (ISBERT, 1998). Tal percepção depende, também, da amplitude sonora, visto que os sons graves

¹ Bistafa (2011) define período como “intervalo de tempo decorrido para que um ciclo se complete na curva de variação de pressão ambiente com o tempo”. A frequência é o inverso do período.

necessitam conter mais energia para que sejam escutados pela orelha humana, enquanto os sons agudos são facilmente detectáveis (BRANDÃO, 2016).

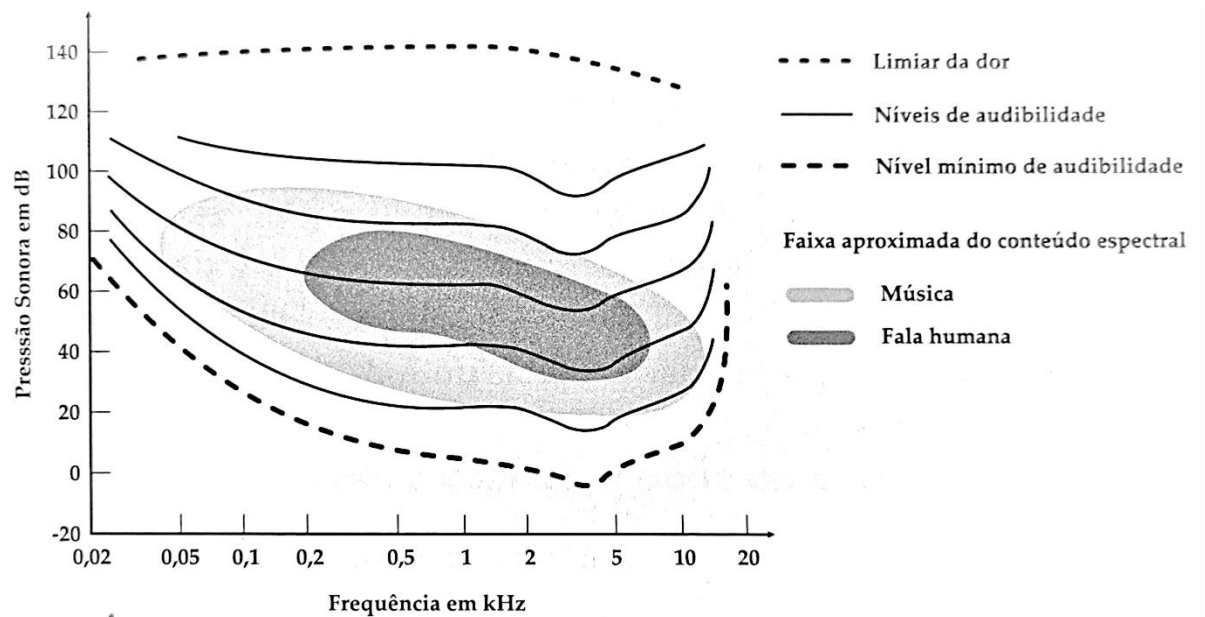
Figura 1 - Relação entre frequência sonora e comprimento de onda.



Fonte: Adaptado de ISBERT (1998).

A Figura 2 apresenta o gráfico de curvas de níveis de audibilidade para a orelha humana, no qual as linhas cheias indicam que o som correspondente àquela combinação de frequência e pressão sonora (eixo x e eixo y, respectivamente) ao longo da linha tem a mesma percepção de audibilidade pelo ser humano, isto é, são percebidas com o mesmo “volume” apesar da mudança de frequência. Esta é representada somente dentro dos valores audíveis para seres humanos.

Figura 2 - Curvas de níveis de audibilidade humana.



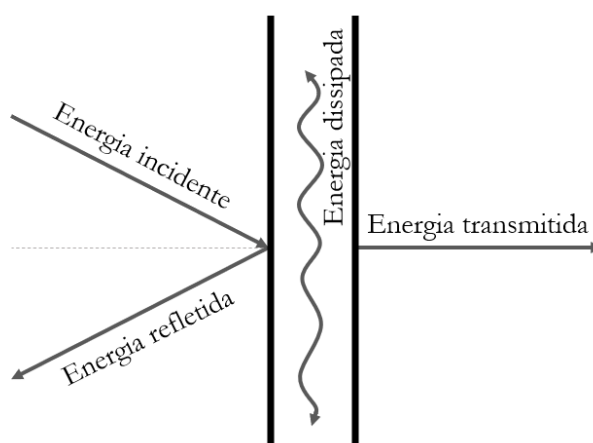
Fonte: BRANDÃO (2016).

A Figura 2 apresenta outro parâmetro importante relacionado ao som: pressão sonora em dB, isto é, o nível de pressão sonora. A pressão sonora, como citada anteriormente, é causada pela

vibração das moléculas do ar, alterando a pressão atmosférica e é expressa em Pascal [Pa] ou Newton por metro quadrado [N/m²]. O nível de pressão sonora, no entanto, é expresso em decibel [dB] e corresponde a uma grandeza logarítmica que caracteriza a sensação subjetiva do som em relação à sua intensidade (BISTAFA, 2011), visto que o intervalo da pressão sonora entre o limiar de audição e o limiar de dor varia numericamente em cerca de 10 trilhões de Pascal e a orelha humana tende a não perceber variações pequenas (BRANDÃO, 2016). Portanto, a grandeza do decibel refere-se à pressão sonora existente relacionada a uma pressão de referência em 1000 Hz em uma escala logarítmica, atribuindo valores inteiros à variação de pressão sonora no ambiente. Essa medida física é relacionada, então, à sensação subjetiva de intensidade do som de acordo com a variação percebida pela orelha humana.

Em se tratando da acústica arquitetônica é importante ressaltar que a propagação sonora dentro dos ambientes sofre interferência da própria arquitetura, como, por exemplo, das paredes ou do teto, bem como das pessoas que podem ocupar aquele espaço. Ao se propagar pelo ar e atingir um obstáculo, a energia sonora incidente apresenta dois comportamentos: parte é refletida e parte absorvida, sendo essa última parte dividida em energia dissipada e energia transmitida (Figura 3). A depender da proporção entre energia refletida e absorvida, os materiais são classificados como refletores ou absorventes, o que interfere diretamente nas características do campo sonoro em tal recinto (BISTAFA, 2011).

Figura 3 - Comportamento da onda sonora ao incidir em uma superfície, como uma parede.



Fonte: Autora.

Um ambiente com predominância de comportamento refletor tende a possuir um alto tempo de reverberação, enquanto um ambiente predominantemente absorvente provavelmente apresentará um baixo tempo de reverberação. Esse fenômeno acústico será mais bem discutido no próximo subtópico.

1.1.2 Acústica de salas (condicionamento acústico)

Um dos fenômenos mais importantes para a acústica de salas é a reverberação. Esse é o nome dado ao fenômeno ocasionado pelo decaimento do som ao longo do tempo após uma fonte sonora ser desligada. Esse decaimento considera que a sala seja excitada em nível sonoro estável e deriva das interações energéticas do som com as superfícies da sala (VORLÄNDER, 2020a). O tempo finito em que esse som leva para decair até a inaudibilidade é chamado tempo de reverberação (EVEREST; POHLMANN, 2015).

O tempo de reverberação, descrito por Wallace Sabine, é determinado pelo volume e a área dos materiais das superfícies dos ambientes de acordo com suas propriedades acústicas (PETERS, 2007), portanto é o parâmetro acústico mais facilmente relacionado com a arquitetura da sala no que concerne à geometria (forma e volume) e materiais. Esse comportamento do som em uma sala pode ser medido e analisado através da resposta impulsiva da sala (Figura 4), que é a relação do nível sonoro ao longo do tempo obtida através da excitação da sala por um som impulsivo, como o estouro de um balão. A Figura 5 mostra um esquema da propagação sonora em uma sala e a sua relação com a resposta impulsiva.

Figura 4 - Resposta impulsiva de uma sala.

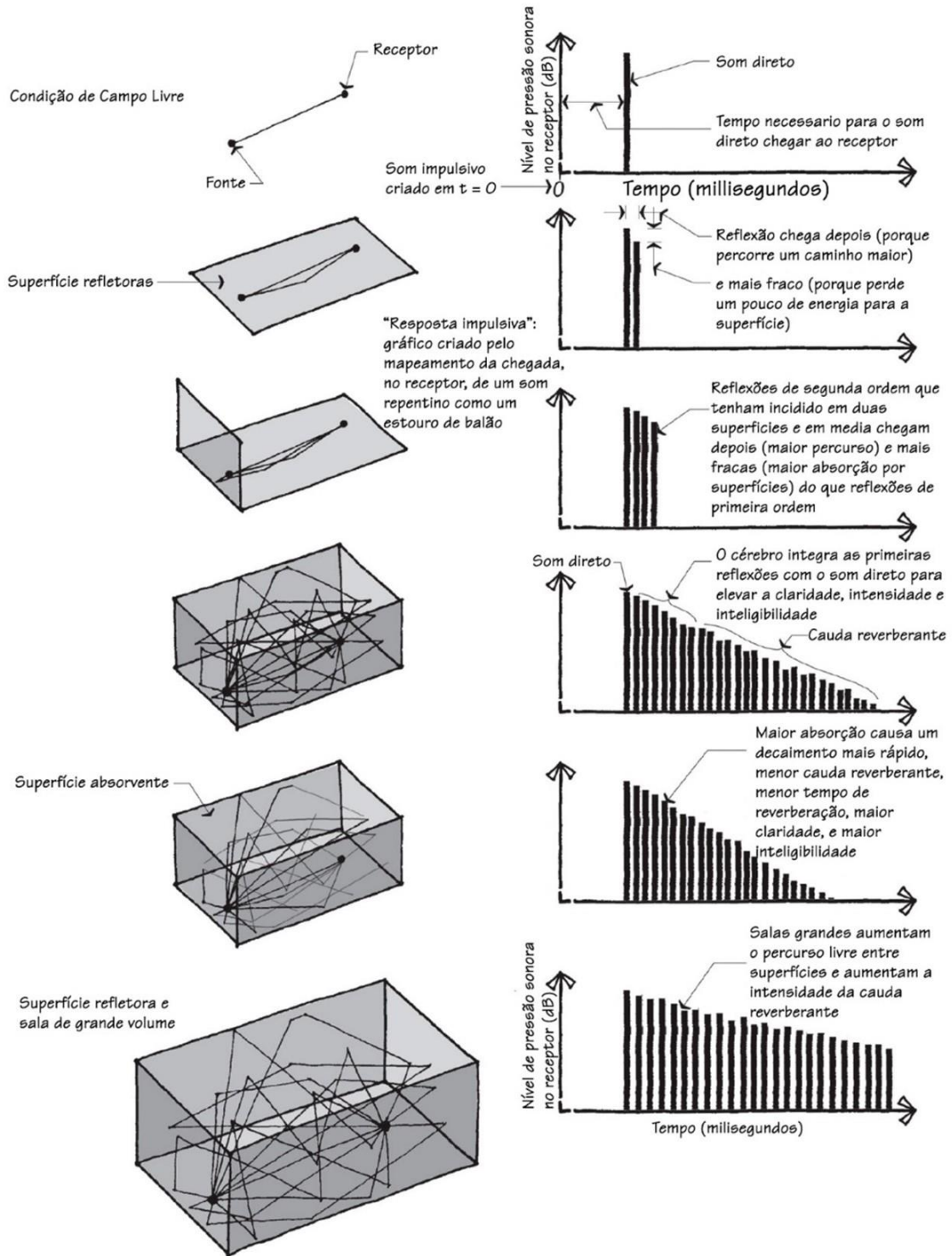


Fonte: Adaptado de VORLÄNDER (2020).

A resposta impulsiva contribui para a avaliação da qualidade acústica da sala, visto que indica as várias contribuições vindas das reflexões e que se pode extrair dados sobre outros indicadores acústicos, além do tempo de reverberação, através da análise da energia sonora mostrada para aquele ponto específico da sala. O tempo de reverberação é um descritor que não

tem variabilidade significativa entre diferentes posições do receptor, podendo ser considerado um único valor para uma sala (VORLÄNDER, 2020a).

Figura 5 - Propagação do som em uma sala e sua resposta impulsiva.

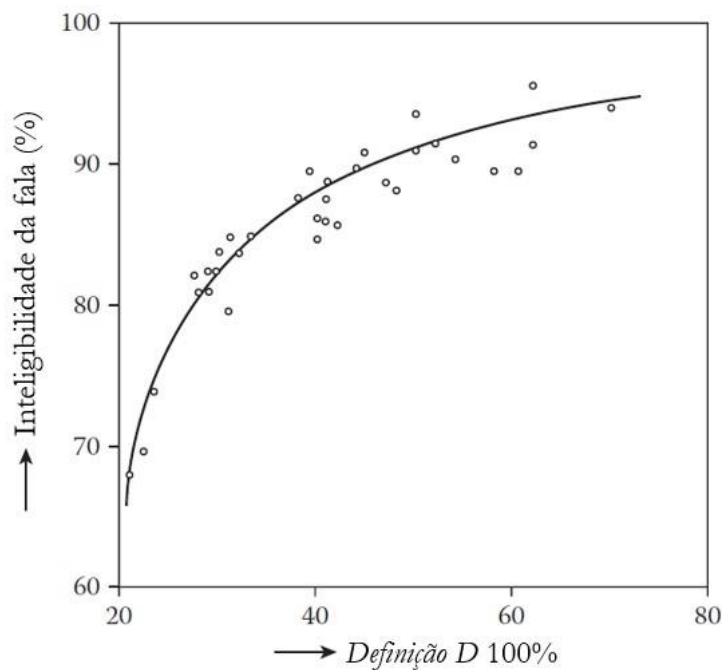


Fonte: ERMANN (2015) adaptado por ALVES (2018).

Devido a duração do som de uma sílaba ou um compasso de uma música, não é possível medir a sensação de reverberação desse único som num decaimento de 60 dB, o que indica que os estágios iniciais da reverberação são aqueles mais percebidos pelos receptores (VORLÄNDER, 2020a). Reflexões ocorridas até os primeiros 50 milissegundos [ms] após o som direto geralmente não são percebidas pela audição humana como um som separado, de modo que estas primeiras reflexões contribuem para a intensidade do som direto e são usualmente chamadas de “reflexões úteis” (KUTTRUFF, 2007).

A contribuição dessas reflexões úteis quanto ao som total pode ser definida proporcionalmente por dois parâmetros relativos: Clareza e Definição. O primeiro é mais utilizado para salas de música e avalia a relação da energia contida nas primeiras reflexões com a energia da cauda reverberante, normalmente avaliando os primeiros 80 ms da resposta impulsiva. Ao considerar os primeiros 50 ms, o parâmetro também pode ser usado para avaliação da fala. Já o segundo, mais utilizado para salas de fala, avalia a relação entre a energia das primeiras reflexões e a energia total, considerando os primeiros 50 ms da resposta ao impulso (BRANDÃO, 2016). Esse parâmetro possui relação direta com a inteligibilidade da fala (Figura 6), que pode ser avaliada por testes de inteligibilidade de diversas metodologias, como ditados de monossílabos ou frases foneticamente balanceadas.

Figura 6 - Relação da Inteligibilidade da fala com o parâmetro Definição.



Fonte: Adaptado de KUTTRUFF (2017).

A Definição é uma medida objetiva altamente correlacionada à inteligibilidade da fala, avaliada sempre em função de uma fonte sonora dentro da sala (KUTTRUFF, 2017). Embora haja diferença na conceituação e cálculo de Definição e Clareza, ambos estão relacionados com o Tempo Central (definido pelo primeiro momento da resposta impulsiva em que se pode separar as reflexões iniciais e tardias – representado por t_s) e a percepção da clareza do som, sendo úteis para descrever a impressão de “som limpo” tanto para música quanto para fala (VORLÄNDER, 2020b).

Outro parâmetro importante para ambientes voltados para a fala é o Índice de Transmissão da Fala (*Speech Transmission Index*), cuja sigla em inglês, STI, é amplamente utilizada nos estudos em português. O STI está associado às frequências de modulação da fala, que são alteradas em amplitude pelo tempo de reverberação e ruído residual da sala, apresentando uma razão entre a amplitude enviada e recebida numa determinada sala, expressa em valores de STI entre 0 e 1. De modo qualitativo, o STI apresenta classificações que vão de ruim a excelente através de faixas de valores (BRANDÃO, 2016). O STI representa, então, o quão a inteligibilidade pode ser afetada pelas características arquitetônicas da sala, que influenciam diretamente no tempo de reverberação, associado ao condicionamento acústico, e no nível de ruído, que está relacionado ao isolamento acústico da sala.

1.1.3 Acústica de edifícios (isolamento acústico)

A acústica de edifícios contempla a propagação sonora na edificação, seja entre ambientes ou entre o meio externo e interno. Trata principalmente do isolamento acústico entre ambientes, isto é, o impedimento da transmissão sonora de um ambiente para o outro a fim de evitar perturbações sonoras indesejadas (MOMMERTZ, 2009). A transmissão do som pode se dar tanto por impacto como através do ar, dividindo o isolamento acústico em dois tipos: isolamento de ruído de impacto e isolamento de ruído aéreo. Para esta tese o ruído de impacto não é considerado, portanto somente a transmissão do ruído aéreo será abordada.

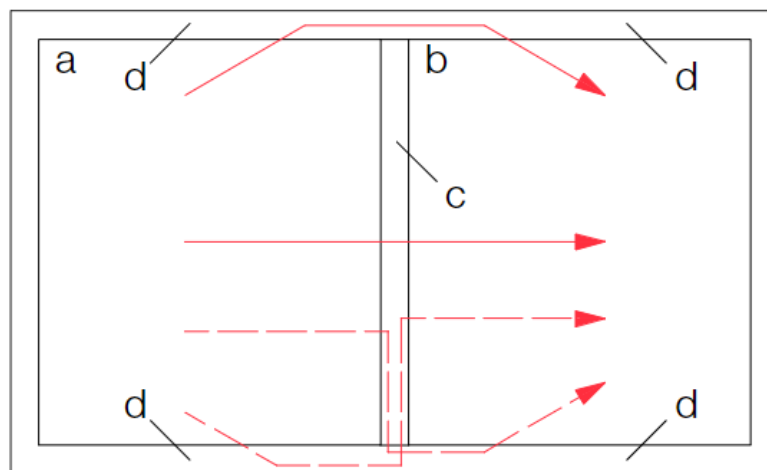
Quando dois ambientes são divididos por uma parede, por exemplo, essa funciona como um obstáculo para a transmissão da onda sonora, visto que a frente de onda que se propagava pelo ar agora incide sobre o material da parede. Essa mudança de meio de propagação causa uma atenuação na intensidade sonora transmitida por essa onda, que passa pelas mudanças ar-parede e parede-ar para chegar no recinto adjacente, reduzindo sua intensidade em comparação com aquela no ambiente emissor (BISTAFA, 2011).

A composição da vedação que divide os dois ambientes, sejam esses internos a uma edificação ou a divisória entre a edificação e o meio externo, influencia no isolamento sonoro, visto

que cada material possui suas propriedades relacionadas à transmissão do som, podendo contribuir de forma positiva ou negativa para o isolamento sonoro de toda a partição (BISTAFA, 2011; MOMMERTZ, 2009).

Ao se propagar, o som causa vibrações nos fechamentos dos ambientes, mesmo quando transmitido pelo ar. Esse som não se propaga somente pelo elemento divisório entre ambientes (representado pela letra “c” na Figura 7), mas também pelas vias adjacentes (representadas pela letra “d” na Figura 7), através das chamadas junções de flancos (MOMMERTZ, 2009). Essas transmissões são influenciadas pelas propriedades das soluções construtivas, junções e geometria dos ambientes (PROACÚSTICA, 2022).

Figura 7 - Vias de transmissão do ruído aéreo entre ambientes “a” e “b”.



Fonte: MOMMERTZ (2009).

A fim de saber como os elementos que compõem a arquitetura do ambiente transmitem ruído entre um ambiente e outro, alguns parâmetros de isolamento acústico podem ser avaliados. O Índice de Redução Sonora (R) quantifica o nível de pressão sonora, medido em decibel [dB], que é atenuado pelo material ao ser atravessado pelo som em cada frequência. Normalmente o R é um índice obtido em laboratório e varia de acordo com a composição do elemento, seja ele monolítico ou não. Ele pode ser ponderado por frequências e apresentado como R_w , chamado de Índice de Redução Sonora Ponderado² (MOMMERTZ, 2009).

Quando a transmissão sonora é aplicada a uma situação específica, a transmissão por flancos deve ser considerada e o parâmetro que mede o isolamento sonoro passa a ser a $D_{nT,w}$

² O Índice de Redução Sonora Ponderado R_w é determinado pelo valor de redução sonora encontrado em 500 Hz após ajustes na curva de referência em incrementos de 1 dB até que a soma dos desvios negativos seja menor que 32 dB. Esse procedimento é usado internacionalmente e descrito pela ISO 717-1 (MOMMERTZ, 2009).

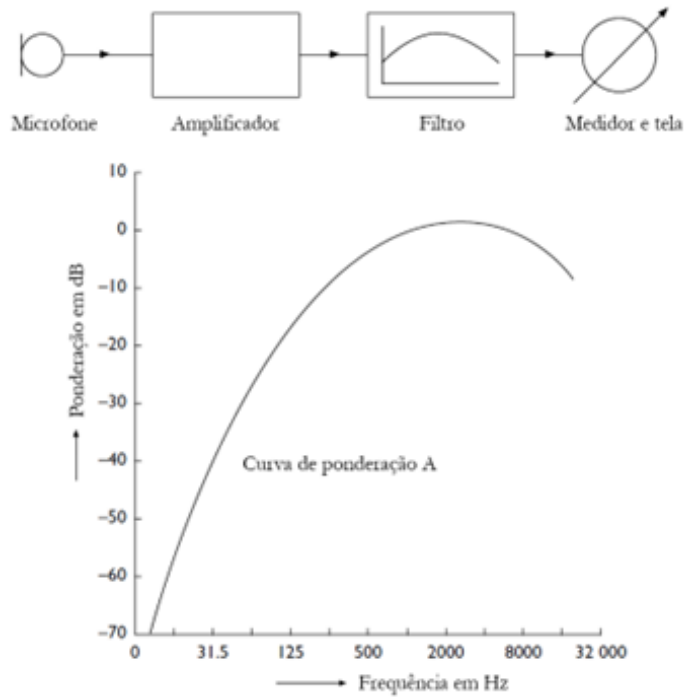
(Diferença de Nível Padronizada Ponderada), única para cada divisória a partir das características da arquitetura do ambiente (PROACÚSTICA, 2022) e mais representativa quanto à diferença entre níveis de pressão sonora entre dois ambientes descrevendo melhor o isolamento sonoro entre eles (MOMMERTZ, 2009). A $D_{nT,w}$ é derivada da D_{nT} , sigla para Diferença de Nível Padronizada, que corresponde à diferença da média do nível de pressão sonora, em tempo e espaço, considerando dois ambientes no qual um possui uma ou mais fontes sonoras e o outro, um tempo de reverberação de referência (ISO, 2017a). A D_{nT} é medida por bandas de frequência tanto no ambiente emissor quanto no receptor e sofre correções do tempo de reverberação do ambiente receptor para ser convertida em um número único, resultando na $D_{nT,w}$ (PROACÚSTICA, 2022).

Ao se tratar de fachadas, o parâmetro passa a ser a $D_{2m,nT,w}$ (Diferença de Nível Padronizada Ponderada, a 2 metros de distância da fachada), que é equivalente à $D_{nT,w}$, mas avalia o quanto de ruído aéreo externo, como os oriundos do tráfego, aviões, conversas, dentre outros, é atenuado pela divisória que compõe a fachada do edifício, geralmente composta de diversos tipos de partições. Esses parâmetros medem o chamado desempenho acústico da vedação dos ambientes de um edifício (PROACÚSTICA, 2022).

A NBR 10.152 (ABNT, 2017), denominada Acústica – níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações, determina os valores de Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{Aeq}) que devem ser encontrados dentro de ambientes fechados, incluindo ambientes residenciais, comerciais, institucionais ou de serviço. O L_{Aeq} é o “nível sonoro estacionário, que se ocorresse durante o intervalo de registro, geraria a mesma energia sonora produzida pelos eventos sonoros registrados” (BISTAFA, 2011, p. 121) ponderado em filtro A. Ele pode ser também considerado como o descritor para o ruído de fundo ou residual, que pode ser definido como “todos os outros sinais (ruídos) diferentes daquele de interesse” (ASTOLFI et al., 2019).

O filtro de ponderação A é usado para modificar o espectro sonoro de modo a representar a sensação subjetiva de intensidade causada pelos níveis de pressão sonora que são normalmente verificados nos sons do dia a dia, em que há uma maior perda de ganho nas frequências graves, aproximando o espectro sonoro àquele percebido pela orelha humana (BISTAFA, 2011). Embora esses sons cotidianos apresentem normalmente uma ampla faixa de frequência ao invés dos tons puros e banda estreita, como nas curvas isofônicas, o filtro A é largamente utilizado, principalmente no que se refere às diretrizes técnicas e regulamentações legais (KUTTRUFF, 2007). A Figura 8 apresenta de modo resumido o processo de medição e filtragem do espectro sonoro, assim como a curva de ponderação A e sua relação entre ganhos e frequências.

Figura 8 - Processo de medição e filtragem do nível de pressão sonora seguido por curva de ponderação A.



Fonte: Adaptado de Kuttruff (2007).

Considerando que esta tese se utiliza de uma sala de aula como ambiente para aplicação de sua metodologia e que no Brasil não existem normas técnicas específicas para projetos de escolas quanto ao nível de desempenho acústico que os elementos de vedação, sejam internos ou externos, a Tabela 1 apresenta parte da tabela da NBR 10.152 (ABNT, 2017) que determina os valores de referência, com apenas os valores para salas de aula. O RL_{Aeq} refere-se ao valor limite para o L_{Aeq} previsto para fins de estudo e projeto, podendo ser acrescido de 5 dB em casos de avaliação de ambientes construídos. Esses valores referem-se a ruídos residuais, desconsiderando, por exemplo, o nível emitido pela fala do professor.

Tabela 1 - Valores de referência para avaliação, estudo e projeto para salas de aula.

Finalidade de uso	Valores de referência		
	RL_{Aeq} (dB)	RL_{ASmax} (dB)	RL_{NC}
Educacionais			
Salas de aula	35	40	30

Fonte: Adaptado de NBR 10.152 (ABNT, 2017).

Desta forma, prevê-se que o ruído externo que pode ser ouvido internamente à uma sala de aula não deve ultrapassar o valor de 35 dB ao considerar o RL_{Aeq} . Em salas de aulas algumas fontes também podem ser internas, como o ruído ocasionado por atividades dos próprios

estudantes ou equipamentos de climatização, por exemplo, devendo cumprir esses mesmos valores de referência.

1.2 Aurilização e realidade virtual acústica

A predição da acústica de uma sala pode se dar através de modelos teóricos, como modelos de ondas analíticos ou números, acústica geométrica e análise estatística de energia, considerando como dados de entrada as características da sala, como propriedades dos materiais, volume, áreas de superfícies, espessuras dos elementos estruturais e suas junções. A primeira simulação de acústica de salas baseada no som como partícula foi publicada na década de 1960, sendo cada vez mais aprimorada à medida que os computadores avançaram em capacidade de processamento (VORLÄNDER et al., 2014).

No início da década de 1990, a capacidade computacional de máquinas pessoais se tornou suficiente para permitir simulações acústicas e aurilizações, mesmo que o processo fosse muito demorado. Desde então, muitas melhorias foram implementadas nos softwares, cálculos, processamento e reprodução das técnicas, se aplicando também a salas com usos mais habituais, bem como a estudos de isolamento sonoro aéreo (VORLÄNDER et al., 2014).

A aurilização consiste numa técnica em que um som gravado, geralmente em câmaras anecóicas, é digitalmente convoluído com uma resposta impulsiva a fim de simular como aquele áudio soaria no ambiente da referida resposta impulsiva (VORLÄNDER, 2020b). O método mais direto de realizar essa técnica é utilizar medições de respostas impulsivas binauriculares da sala (*Binaural Room Impulse Response*, em inglês, cuja sigla é BRIR) e convoluir com sinais anecoicos, no entanto espaços virtuais cujas BRIRs são simuladas podem ser utilizados para aurilização e predição de como seria a experiência binauricular do receptor naquela determinada posição do espaço (LOKKI, 2002). Essa técnica pode ser aplicada tanto para prever como ambientes irão se comportar acusticamente em determinada posição de receptor, para aquela gravação, quanto para avaliar ambientes sob diversas condições. Para tal, basta escutar o som aurilizado utilizando-se fones de ouvido, porém alguns estudos aplicam realidade virtual e sons aurilizados para uma experiência mais imersiva do usuário.

O termo “aurilização” é amplamente utilizado em função da semelhança com o termo em inglês “auralization”. Para adequação ao português, em função da semântica da palavra, Melo (2012) defende o termo “aurilização”, visto que o prefixo “auri” se refere à audição em português, sendo este o termo aqui utilizado.

A aurilização é muito utilizada associada à Realidade Virtual (RV), sendo essa definida por Vorländer et al. (2014) como “a representação e percepção simultânea da realidade e seus atributos físicos em um ambiente virtual interativo gerado por computador” (tradução livre, p. 02), de modo que o som melhore a experiência de imersão e percepção da realidade, podendo ser operado em tempo real. A RV tem como uma das características mais importantes a interface entre ambiente virtual tridimensional e o ser humano (VORLÄNDER, 2020b). Visto que a modelagem e simulação de sons realistas são de alta complexidade do ponto de vista físico, a implementação de áudios renderizados em tempo real para ambientes virtuais foi mais demorada que os aprimoramentos visuais (VORLÄNDER et al., 2014).

A aurilização pode ser utilizada de modo integrado à realidade virtual com diversos propósitos, inclusive para previsão de isolamento sonoro e experimentos em psicoacústica. A acústica virtual, que se divide em acústica de edifícios e acústica de salas, permite a integração com ambientes auditivo-visuais, resultando em aplicações para predição da acústica em edificações a serem construídas ou renovadas, para experimentos auditivos e para fins educacionais (HEIMES; MUHAMMAD; VORLÄNDER, 2020).

O processo de aurilização, considerando a implementação em RV, de modo simplificado como mostrado na Figura 9, é iniciado através da modelagem da sala virtual, cuja transmissão sonora é calculada e gerada na forma de filtro de redução sonora por frequência ao mesmo tempo que a resposta impulsiva da sala (RIR) é gerada através de simulação ou medição.

A renderização da RIR com o filtro é realizada acrescentando-se o som anecóico, o que resulta no som binauricular que poderá ser utilizado para reprodução através de caixas de som ou fones de ouvido. Para complementar, o ambiente é modelado de forma mais refinada para inserção em programa de RV e visualização através de um HMD (*Head Mounted Display*, em inglês, conhecido em português como óculos de realidade virtual).

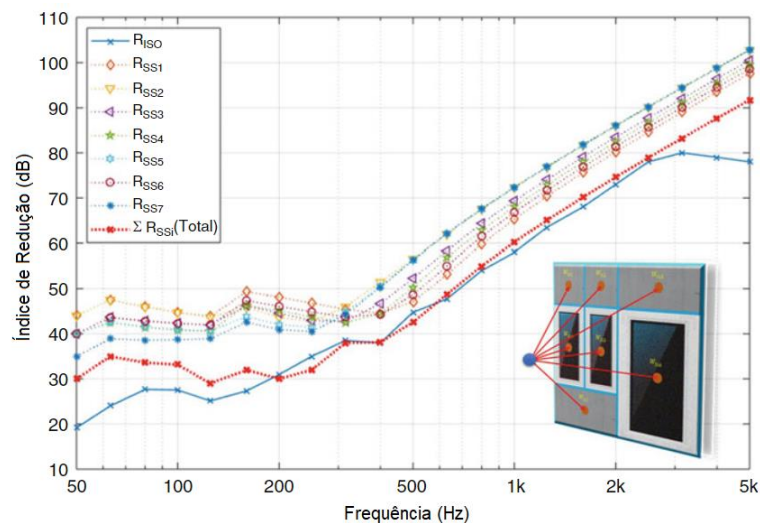
Figura 9 - Processo de aurilização e implementação em RV, quando considerada a acústica de edifícios.



Fonte: Adaptado de Heimes, Imran e Vorländer (2019).

Para o cálculo do filtro de transmissão sonora, as partições da vedação da fachada são consideradas de acordo com seus materiais e seus índices de redução sonora (R), bem como angulação da fonte sonora externa, conforme Figura 10.

Figura 10 - Exemplo de índices de redução sonora de acordo com a angulação da fonte sonora externa.

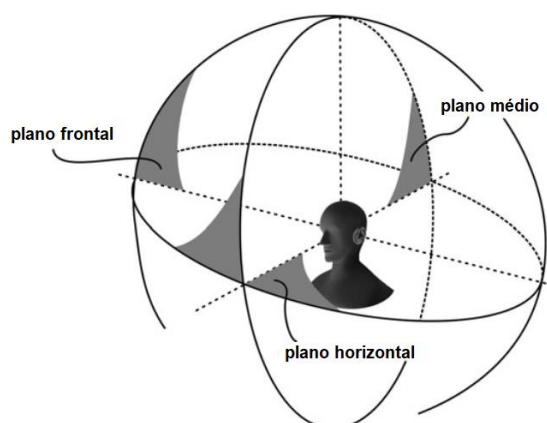


Fonte: adaptado de VORLÄNDER (2020b).

Um fator importante para a aurilização é a capacidade dos humanos de localizarem fontes sonoras através de sua audição binauricular, isto é, a localização das orelhas lateralmente à cabeça

permite que a percepção da localização do som seja realizada tanto no plano horizontal quanto vertical, seja pela diferença de tempo interaural (ITD – *interaural time difference*, em inglês) ou pela diferença de nível interaural (ILD – *interaural level difference*, em inglês). A audição humana é influenciada, portanto, pelas chamadas HRTF (*Head-Related Transfer Functions*, em inglês, traduzida para Funções de Transferência Relacionadas à Cabeça), que consideram o impacto que o formato da cabeça e do torso causam nas reflexões e difrações do som antes de chegarem às orelhas (VORLÄNDER, 2020b).

Figura 11 - Planos de coordenada do sistema relacionado à cabeça (HRTF).



Fonte: adaptado de VORLÄNDER (2020b).

O artigo intitulado “*Audio-video virtual reality environments in building acoustics: An exemplary study reproducing performance results and subjective ratings of a laboratory listening experiment*” (em português, “Ambientes de realidade virtual de áudio-vídeo em acústica de edifícios: Um estudo exemplar reproduzindo resultados de desempenho e classificações subjetivas de um experimento de escuta em laboratório” – tradução livre) produzido por Muhammad, Vorländer e Schlittmeier (2019), embasou a metodologia utilizada neste trabalho. Os autores utilizaram realidade virtual (RV) com aplicações para avaliação de desempenho cognitivo dos participantes sob diferentes condições de isolamento acústico em escritórios. O estudo validou a metodologia previamente utilizada para avaliar os fatores ligados ao condicionamento acústico para avaliação de desempenho cognitivo através de condições de isolamento acústico.

Outro artigo que embasou parte desta pesquisa foi produzido por Prodi e Visentin (2015), intitulado originalmente como “*Listening efficiency during lessons under various types of noise*” (em português, “Eficiência da audição durante aulas sob vários tipos de ruído”, tradução livre). Esse estudo teve por objetivo investigar como a eficiência da audição se comporta durante o tempo equivalente a uma aula, juntamente com a inteligibilidade da fala e o tempo de resposta de

estudantes entre 8 e 10 anos. A justificativa para tal estudo foi avaliar de que maneira específica o ruído dificulta as atividades cognitivas durante o tempo de aula ao sobrecarregar os estudantes ao impor uma necessidade de esforço extra para entender as atividades mais precisamente. Um dos resultados encontrados pelo estudo foi que a exposição contínua ao ruído de tráfego gera maior estresse nos alunos, piorando o tempo de resposta deles ao longo do tempo de aula. Enquanto isso, o ruído de murmúrios e atividades traz resultados piores no início da aula, mas não apresenta pioras significativas ao longo do tempo com a exposição contínua.

1.2.1 *Aplicação de testes de desempenho cognitivo relacionados à avaliação acústica*

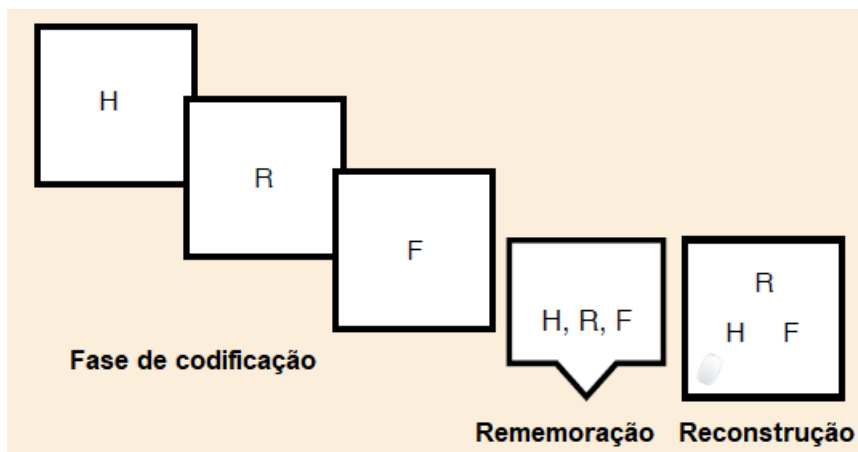
Ruídos que não são foco de atenção na atividade exercida podem influenciar o desempenho cognitivo das pessoas ao realizar atividades que requerem concentração. O Efeito do Som Irrelevante (*Irrelevant Sound Effect*, em inglês, cuja sigla é ISE) descreve essa influência na performance da memória de curto prazo quando submetida a discursos irrelevantes ou alguns sons diferentes de fala, mesmo quando esse ruído residual é irrelevante à tarefa ou quando a pessoa é orientada a não dar atenção a esse. Se a pessoa está submetida a um ruído residual de fala em língua não nativa daquela pessoa, o ISE tende a ser menor do que quando o ruído é em língua nativa. O mesmo acontece com a SNR quando a atividade principal está concentrada em uma fala (SCHLITTEMEIER et al., 2008).

Um dos métodos mais utilizados para avaliar o impacto do ruído residual no desempenho cognitivo dos usuários é o teste de repetição seriada de rememoração em tradução livre do termo *serial recall test*, em inglês. O artigo de ALVES e FREIRE (2014) discorre sobre a conceituação e adequação do termo originalmente em inglês para o português, visto que a palavra “*recall*” não possui apenas o significado de memorização de forma simplória, mas sim de resgatar uma informação codificada e armazenada na memória, com sentido de recuperação do que foi memorizado. De acordo com os autores, em geral, essa recuperação está associada a uma ação cognitiva e não apenas a uma habilidade. Portanto, quando traduzido para o português, esse teste será aqui descrito como teste seriado de recuperação de memória.

A memória de curto prazo aplicada a ordens seriadas de memorização, sejam verbais ou não, é a base para o desempenho da cognição em alto nível. Por isso, testar a memória de curto prazo indica também como a memória de longo prazo poderia ser influenciada. No teste seriado de recuperação de memória os participantes recebem uma informação em ordem aleatorizada, normalmente apresentada em um intervalo de 0,5 a 1 segundo por item, devendo reorganizá-la em

ordem novamente (Figura 12). Uma das possíveis formas de realizar esse teste é o teste verbal, que usa letras, dígitos ou palavras apresentadas visual ou sonoramente (HURLSTONE, 2021).

Figura 12 - Processo do teste seriado de recuperação de memória do tipo verbal.



Fonte: adaptado de HURLSTONE (2021).

Esse tipo de teste é uma tarefa simples, porém os dados derivados dele apresentam uma complexidade de interpretações e riquezas de detalhes que podem ser extraídos das respostas do teste. Ainda não existem evidências de como se dá a operação do desencadeamento associativo em testes verbais, que trata da memorização de elementos em ordem, de modo que a não lembrança de um elemento ou a troca de dois deles aumenta a taxa de erro, mesmo que os outros elementos tenham sido memorizados corretamente (HURLSTONE, 2021).

Capítulo 2. METODOLOGIA

Em função dos objetivos desta tese, optou-se por uma metodologia quali-quantitativa, visto que seriam necessários coletar dados tanto qualitativos quanto quantitativos. A pesquisa tem característica majoritariamente quantitativa, com breves análises qualitativas quanto à percepção dos usuários durante os experimentos com fins de comparação. Essas análises qualitativas dão subsídios aos dados quantitativos coletados. Foram realizadas medições acústicas, simulações computacionais, auralizações, questionários e experimentos com realidade virtual, que serão descritos nesta seção. Cada uma das etapas realizadas será descrita a seguir.

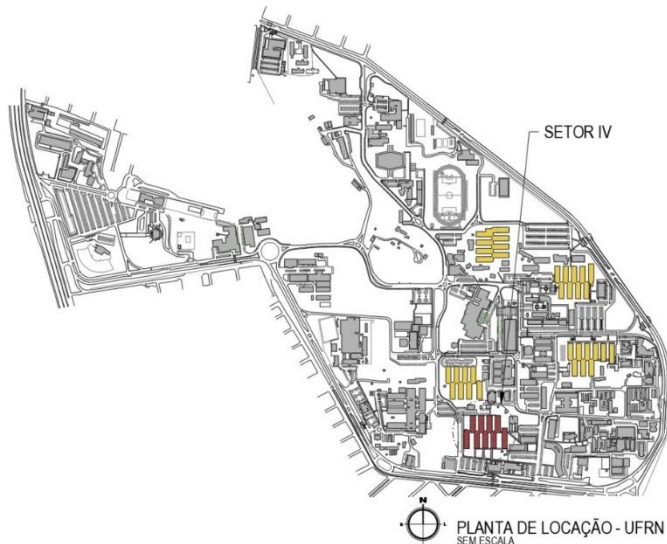
2.1 Medições acústicas

A fim de embasar os dados a serem simulados e usados no experimento em realidade virtual, uma sala de aula do setor de aulas teóricas IV da Universidade Federal do Rio Grande do Norte teve sua resposta impulsiva medida e utilizada como referência para esta pesquisa.

2.1.1 A sala de aula escolhida

A Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) tem cinco setores de aulas teóricas em seu *Campus* central, cada um deles associados a um Centro da Universidade. Esses setores são compostos por um conjunto de salas de aulas, algumas salas administrativas, auditórios e salas de estudos de um modo geral. As edificações são originais da época de inauguração da universidade, tendo passado por ampliações e pequenas reformas.

Figura 13 - Planta de localização da UFRN com destaque para setores de aulas teóricas (amarelo), com destaque para o setor IV (vermelho).



Fonte: Adaptada de Superintendência de Infraestrutura da UFRN (2017).

Todos os setores têm a mesma configuração e estão representados em amarelo na Figura 13, com destaque em vermelho para o Setor IV, associado ao Centro de Tecnologia, e onde está localizada a sala de aula escolhida neste estudo.

O referido setor de aulas teóricas é composto por um corredor central, que liga edificações posicionadas de modo alternado, chamadas de “blocos” e nomeados em ordem alfabética de “A” a “I”, neste setor. Na Figura 14 é possível ver o bloco F à esquerda e o bloco G à direita no fundo da foto, bem como as áreas gramadas que separam os blocos uns dos outros e a circulação coberta que dá acesso às salas de aula.

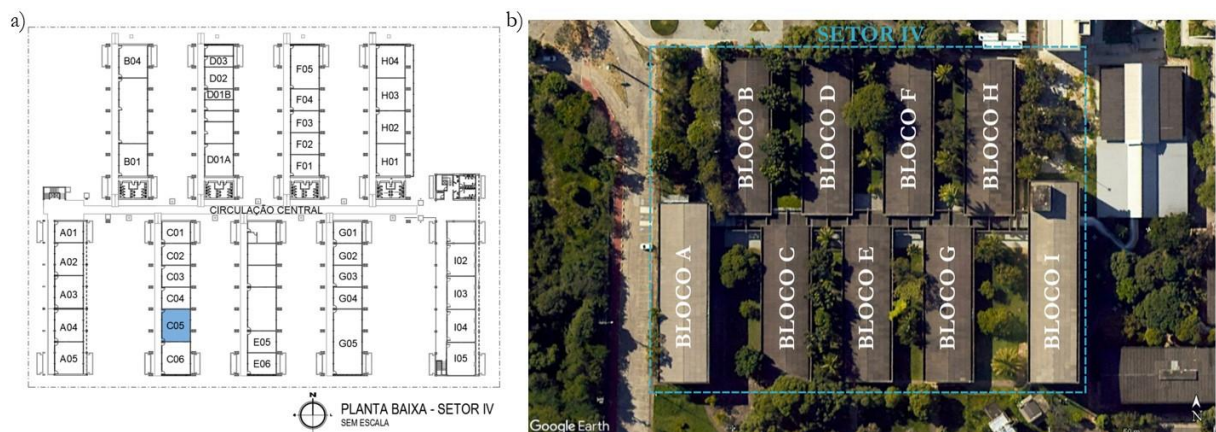
Figura 14 - Circulação central que interliga os blocos do setor de aulas teóricas IV da UFRN.



Fonte: Autora (2017).

A planta baixa do Setor IV é apresentada na Figura 15a com destaque para a sala de aula C05, escolhida para as medições (realçada em azul). As salas que não estão nomeadas são salas com outros usos que não sejam sala de aula. Entre os blocos paralelos localiza-se um jardim, como pode ser observado na imagem de satélite mostrada na Figura 15b.

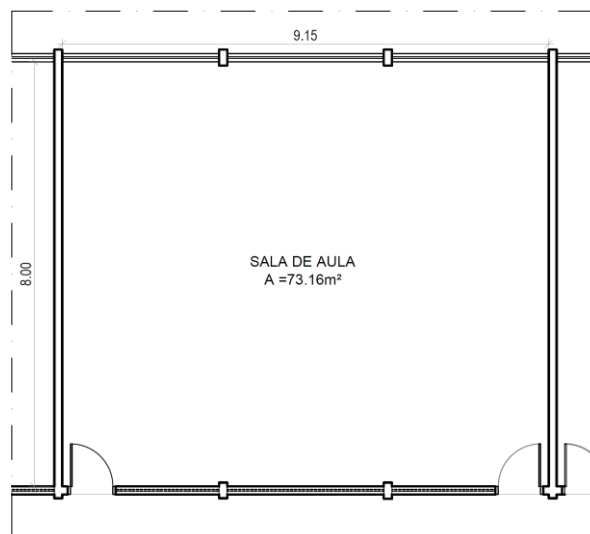
Figura 15 - Planta baixa com destaque para a Sala C05 (a) e imagem de satélite (b) do Setor IV de aulas da UFRN.



Fonte: a) Adaptada de Superintendência de Infraestrutura da UFRN (2017); b) Adaptada de Google Earth (2022).

A sala de aula C05 possui formato retangular (ver Figura 16), laje plana com duas vigas transversais e capacidade para em média 55 alunos. A sala é composta por piso revestido em peças de granilite, paredes emassadas e pintadas, laje pintada e lousas em vidro.

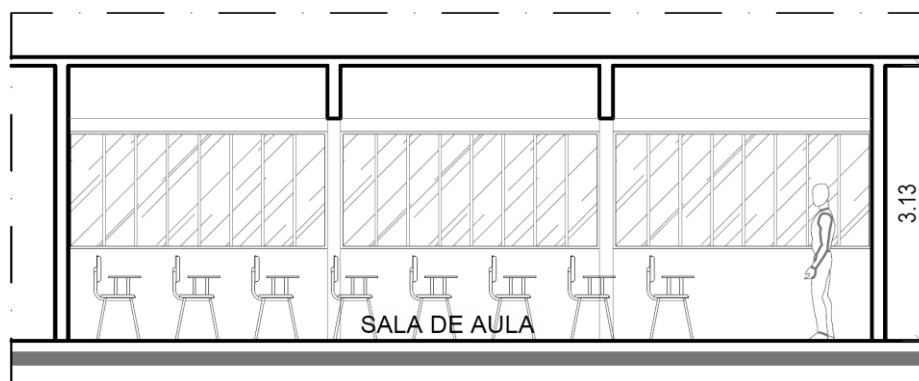
Figura 16 - Planta baixa da sala de aula C05, setor IV, UFRN.



Fonte: Adaptada de Superintendência de Infraestrutura da UFRN (2017).

A sala possui duas portas, uma em cada extremidade da parede que dá acesso à circulação. Nesta mesma parede, janelas altas são localizadas entre pilares. Pode ser encontrado também cobogós em vez de janelas altas em outras salas do mesmo padrão. Na maioria das salas, essas janelas ou cobogós são fechados por placas de PVC em função da climatização com ar-condicionado. Na parede oposta, que consideraremos aqui como “fachada” e que separa a sala do jardim entre blocos do setor, estão localizadas janelas pivotantes de alumínio e vidro entre os pilares. Essa parede pode ser vista no corte longitudinal da sala, representado na Figura 17.

Figura 17 - Corte longitudinal da sala de aula C05, setor IV, UFRN, mostrando a parede da fachada vista por dentro da sala.



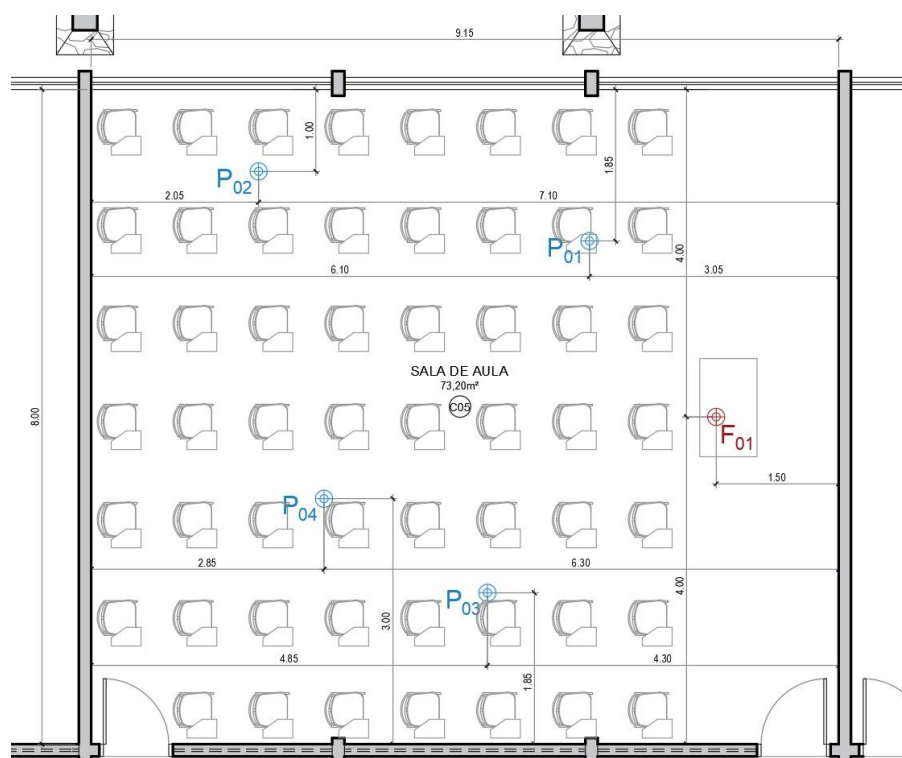
Fonte: Adaptada de Superintendência de Infraestrutura da UFRN (2017).

2.1.2 Medição de resposta impulsiva

Para medir a resposta impulsiva da sala de aula C05, foram utilizados os equipamentos da Brüel & Kjær[®] (B&K³) pertencentes ao Laboratório de Conforto Ambiental do Departamento de Arquitetura da UFRN. A medição foi realizada em um dia de sexta-feira, em dezembro de 2020, seguindo a metodologia da ISO 3382-2 (ISO, 2008). Por estar em uma época de restrições devido à pandemia de Covid-19, a universidade não estava em funcionamento, portanto não havia ruído residual elevado ou possíveis ruídos intrusivos que pudessem causar interferências nas medições. Pela mesma razão, a medição foi realizada com a sala desocupada.

A ISO 3382-2 (ISO, 2008) recomenda o uso de duas posições de fonte sonora e pelo menos três posições de receptor para o método de precisão. Porém apenas uma posição de fonte sonora foi utilizada para esta medição em função do tamanho da sala e da localização da mesa do professor, aumentando-se a quantidade de receptores para quatro a fim de cobrir todo o campo sonoro da sala. A fonte sonora omnidirecional funcionou como orador e foi posicionada na área frontal da sala, a 1,50 m de distância da parede frontal e centralizada entre as paredes laterais, indicada em vermelho por F₀₁ na Figura 18.

Figura 18 - Posições de fonte-receptor utilizadas na medição da resposta impulsiva da Sala C05.



Fonte: Superintendência de Infraestrutura da UFRN (2017), modificado pela autora.

³ Atualmente Hottinger Brüel & Kjær (HBK).

A caixa de som dodecaédrica estava a 1,50 m do piso, como recomendado pela norma ISO 3382-2 (ISO, 2008). A Figura 18 também indica as posições de receptor, nomeadas por P_n , sendo “n” o número da posição. Essas posições foram previamente definidas de acordo com a distância mínima entre fonte e receptor, bem como posições em que os alunos poderiam ocupar na sala.

Como a sala não estava sendo ocupada em função da pandemia de Covid-19, as carteiras estudantis não estavam dispostas organizadamente, mas foram afastadas das posições dos microfones em pelo menos 1 metro para evitar proximidade de superfícies refletoras, como recomenda a ISO 3382-2 (ISO, 2008). A distância mínima entre fonte sonora (F_{01}) e o ponto receptor mais próximo (P_{01}) foi calculada a partir da fórmula apresentada na ISO 3382-2 (ISO, 2008), que determina que:

$$d_{min} = 2 \sqrt{\frac{V}{cT}} \quad \text{Equação 1}$$

em que:

- d_{min} = distância mínima entre fonte e receptor mais próximo;
- V = volume da sala, em metros cúbicos [m^3];
- c = velocidade do som, igual a 344 m/s no ar;
- T = tempo de reverberação estimado para a sala, em segundos [s].

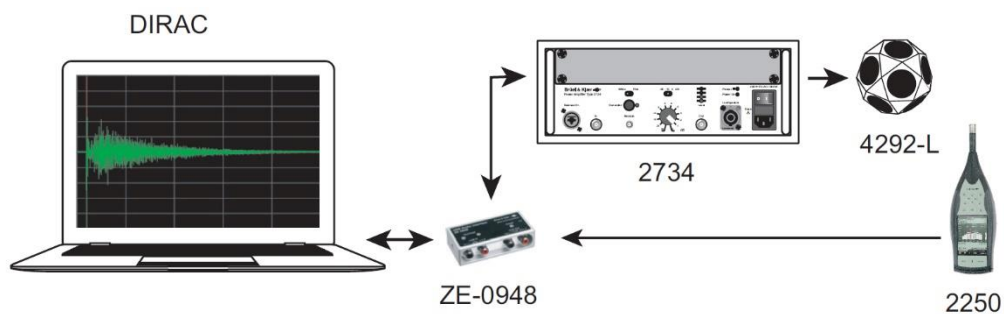
De acordo com a Equação 1, a distância mínima entre fonte e receptor deveria ser de 1,15 m, considerando que a sala tem volume de 227,63 m^3 e um tempo de reverberação estimado em 2,0 segundos. A distância linear medida entre a fonte sonora F_{01} e o ponto Receptor P_{01} foi de 2,65 metros. A Tabela 2 apresenta um resumo das variáveis utilizadas nas medições da resposta impulsiva da Sala C05. Vale ressaltar que as alturas a partir do piso simulam, aproximadamente, a altura da boca de uma pessoa em pé para a fonte sonora e da orelha de uma pessoa sentada para o receptor.

Tabela 2 - Resumo das variáveis utilizadas nas medições da resposta impulsiva.

	Fonte sonora	Receptores
Quantidade	1	4
Altura a partir do piso	1,50 m	1,20 m
Distância da parede frontal	1,50 m	Variável (ver Figura 18)
Distância das paredes laterais	4,00 m (centro)	Mínima de 1,00 m

Para a medição da resposta impulsiva, o medidor de nível de pressão sonora (*Sound Level Meter*, SLM – em inglês) foi conectado ao computador, que operava o software DIRAC[®], versão 6.0, também da B&K. O microfone do SLM foi conectado a ele através de um cabo e posicionado em um tripé, que foi disposto nas quatro posições indicadas na Figura 18 por P_n. A Figura 19 representa o sistema de equipamentos que foram utilizados para as medições de resposta impulsiva e as conexões entre eles.

Figura 19 - Sistema de equipamentos utilizados para medição da resposta impulsiva na sala de aula C05.



Fonte: B&K (2013), folheto explicativo, adaptado por ALVES (2018).

Durante a medição, controlada através do software DIRAC[®], a fonte sonora omnidirecional emitia uma varredura de senos exponenciais (*e-sweep*, no DIRAC[®]), captada pelo microfone ligado ao SLM. Em cada posição de microfone a resposta impulsiva foi medida uma vez com três decaimentos utilizando-se um comprimento de sinal (*length*) de 5,46 segundos, visto que este deveria ter duração de pelo menos duas vezes o tempo de reverberação estimado. O SLM, por sua vez, retornava o sinal captado ao software para o processamento dos dados. Em seguida, o DIRAC[®] mostrava a resposta impulsiva da sala.

Figura 20 - Foto da sala de aula C05 durante medição de resposta impulsiva com microfone na Posição P₀₂.



Fonte: Autora (2020).

Os dados foram salvos e pós-processados no próprio DIRAC[®] para obtenção dos parâmetros acústicos aqui discutidos através da resposta impulsiva medida. As medições eram validadas quando a relação sinal-ruído (SNR) era maior que 35 dB e a relação resposta impulsiva-ruído (INR) maior que 45 dB, conforme recomendado pela ISO 3382-2 (ISO, 2008).

2.2 Simulação e aurilização para realidade virtual

Para cumprir o objetivo de realizar testes cognitivos com participantes em realidade virtual, a sala de aula existente foi simulada e aurilizada em diferentes condições acústicas. A simulação da sala foi realizada através do software RAVEN (*Room Acoustics for Virtual Environment* – Acústica de Salas para Ambientes Virtuais, se traduzido livremente para o português), desenvolvido no IHTA-RWTH. O RAVEN é um software de simulação híbrido de acústica de salas, que combina o método das imagens virtuais da fonte (*Image Source Method*, em inglês) e o algoritmo de cálculo de traçado de raios (*Ray-Tracing*, em inglês).

A simulação realizada no RAVEN contempla a resposta impulsiva da sala computada em tempo real, considerando não só a reflexão especular do campo sonoro, mas também os fenômenos de espalhamento, transmissão sonora e difusão sonora (SCHRÖDER; VORLÄNDER, 2011). Com essa simulação, é possível prever o comportamento acústico na sala ao alterar-se materiais ou geometrias, bem como realizar aurilizações a partir de sons gravados em câmaras anecoicas ou em campo livre.

2.2.1 Simulação da RIR da sala de aula

A Sala C05 foi modelada de modo simplificado no software Trimble Sketchup[®], no qual os materiais foram associados às faces, e exportada como arquivo .rpf (Raven Project File) através do uso do *plugin* do software RAVEN instalado no software Trimble Sketchup[®]. Essa exportação foi necessária para que a modelagem pudesse ser usada como modelo geométrico no software RAVEN através da interface do software MATLAB[®]. Neste, o arquivo .rpf foi carregado no código de *template* fornecido pelo IHTA-RWTH através de repositório na plataforma GitHub, que foi ajustado de acordo com os parâmetros acústicos desejados.

Para as simulações da resposta impulsiva binauricular da sala (BRIR), foram utilizadas fontes virtuais de segunda ordem, 30000 partículas emitidas pela fonte sonora e 3000 ms de largura de filtro. A quantidade de partículas foi definida através do comando *'getNumberOfParticlesRecommendation'*, que sugeria 28760 partículas, cujo número foi arredondado para mais.

Os materiais foram configurados de acordo com aqueles existentes na sala real, porém o tempo de reverberação simulado não foi validado em todas as frequências conforme resultados medidos na sala real. Sendo assim, o comando ‘*adjustAbsorptionToMatchReverbTime*’ do software RAVEN foi usado para ajustar o coeficiente de absorção de todos os materiais, à exceção do material aplicado ao teto, com o fim de atingir o tempo de reverberação medido em todas as frequências. Esse arquivo .rpf foi salvo como sendo a simulação da situação real e usado como base para simular uma situação otimizada, com tempo de reverberação recomendado para sala de aula.

Para tal, a norma Building Bulletin 93 (DEPARTMENT FOR EDUCATION, 2015), do Reino Unido, foi usada como referência, visto que o Brasil não possui atualmente normas que recomendem o tempo de reverberação ideal para salas de aula. A BB93, como é abreviada a norma inglesa, traz valores recomendados para duas situações: novos prédios e prédios reformados. Para prédios reformados, aplicado para o exemplo aqui usado, o tempo de reverberação em frequências médias (T_{mf} - média aritmética do tempo de reverberação nas frequências de banda de oitava de 500, 1000 e 2000 Hz) deve ser menor que 1 segundo tanto em salas de aula em escolas secundárias, como em salas de palestras/auditórios, como pode ser visto na Figura 21. Para prédios novos, esse parâmetro deve ser menor que 0,8 segundos, podendo atingir até 1 segundo em auditórios com capacidade para mais de 50 pessoas.

Figura 21 - Valores recomendados para tempo de reverberação de acordo com BB93 (2015).

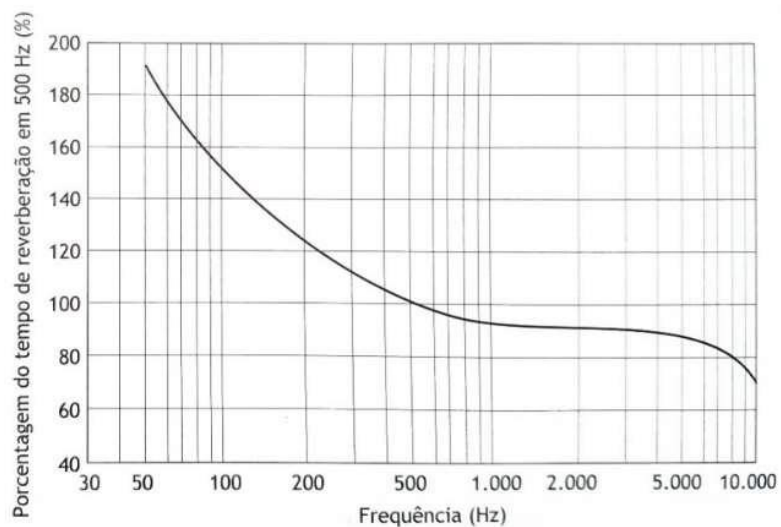
Tipo de sala	T_{mf} em segundos	
	Construção nova	Construção reformada
<i>Escola secundária:</i> sala de aula, área de ensino geral, sala de seminário, sala de tutoria, laboratório de linguagens Sala de estudos (individual, recolhimento, trabalho de recuperação, preparação de professores) Laboratório de ciências Projeto e tecnologia: Resistência de materiais, área CAD/CAM, Eletrônicos/controlado, têxteis, comida, gráficos, área de projeto/pesquisa, sala de TIC, artes	$\leq 0,8$	$\leq 1,0$
<i>Salas de conferências:</i> Pequenas (menos que 50 pessoas) Grandes (mais que 50 pessoas)	$\leq 0,8$ $\leq 1,0$	$\leq 1,0$ $\leq 1,0$

Fonte: Adaptado de Department for Education (2015).

A simulação da RIR da sala otimizada considerou o tempo de reverberação de 0,6 segundos na frequência de 500 Hz, derivado do volume da sala, o qual foi tomado como referência para o

cálculo do TR nas outras bandas de oitava, de acordo com o gráfico ilustrado na Figura 22. Essa simulação gerou uma RIR, considerada “boa” para os passos seguintes.

Figura 22 - Relação entre TR em 500 Hz e outras frequências sonoras.



Fonte: BISTAFA (2011).

2.2.2 Aurilização de sons externos comuns em escolas

Após gerada a resposta impulsiva da sala através da simulação, para o experimento piloto, foi escolhida uma gravação do ruído residual de tráfego, realizada pelo Dr-Ing. Lukas Aspöck, diretor acadêmico do IHTA-RWTH, no cruzamento das ruas Jakobstraße e An der Schanz, nomeado como Aachen-Schanz (Figura 23).

Figura 23 - Área de Aachen-Schanz com destaque para local do ponto de gravação do ruído de tráfego.

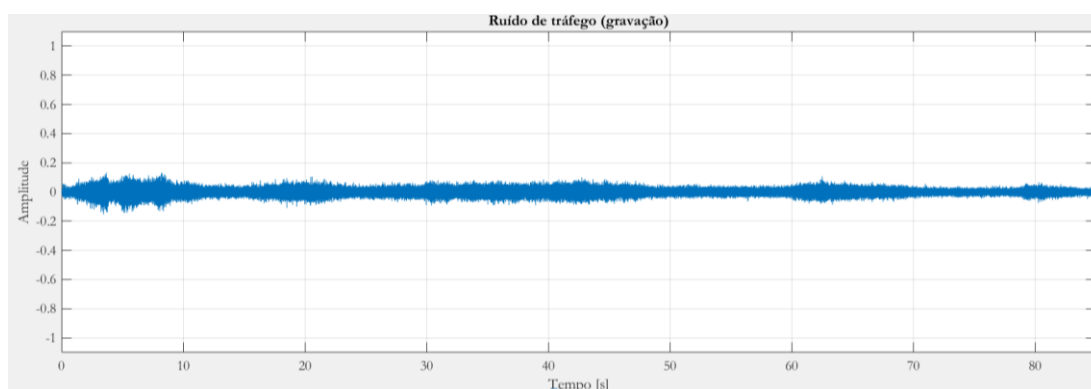


Fonte: Google Earth (2022), modificado pela autora.

Essa é uma área mista da cidade de Aachen, na Alemanha, no qual um trecho da rua Jakobstraße é elevado para a passagem de trens abaixo da rua em direção à estação ferroviária central da cidade. Próximo ao cruzamento se localiza a estação de trem Aachen-Schanz. Essa área tem fluxo alto de veículos e trens, visto que é uma das duas opções de direção para a qual todos os trens que passam pela cidade, sejam municipais ou intermunicipais, podem trafegar.

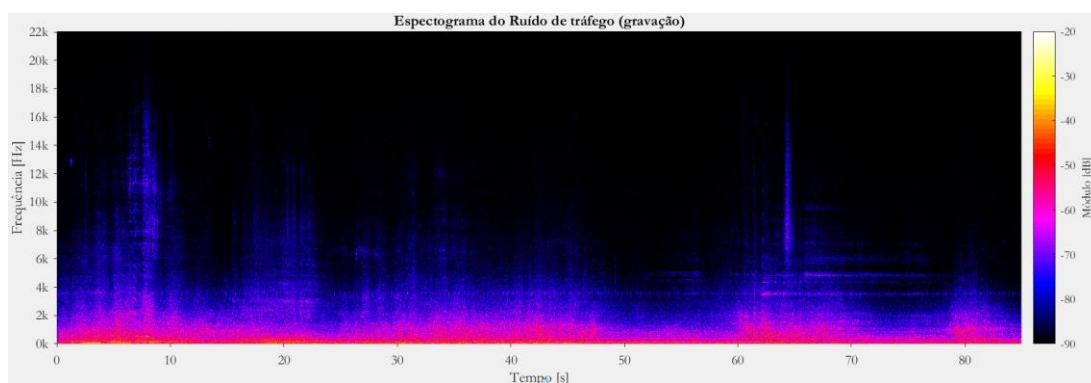
A gravação utilizada tem duração de 1 minuto e 23 segundos e é composta de ruídos de tráfego, havendo momentos de aceleração e desaceleração dos veículos (Figura 24). Em função das fontes sonoras, a gravação é composta majoritariamente por sons de frequências graves (Figura 25).

Figura 24 - Gráfico da amplitude no tempo do áudio da gravação de ruído de tráfego.



Fonte: Autora (2023).

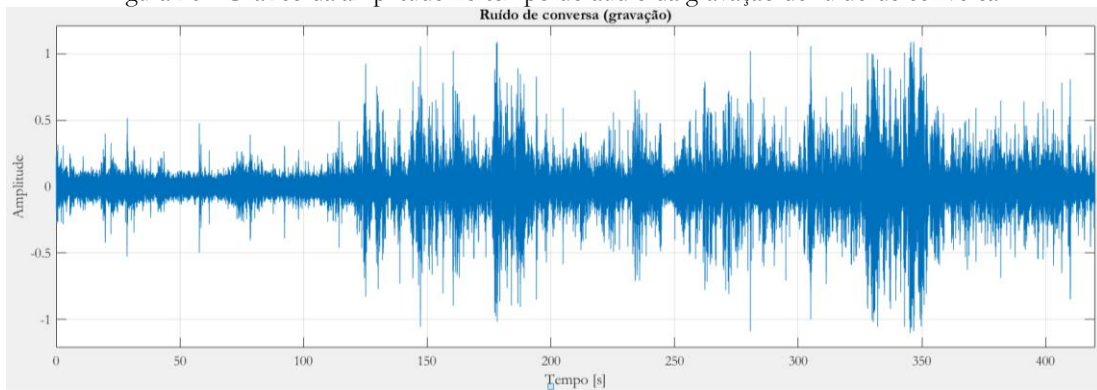
Figura 25 - Gráfico do tipo Espectrograma do áudio da gravação de ruído de tráfego.



Fonte: Autora (2023).

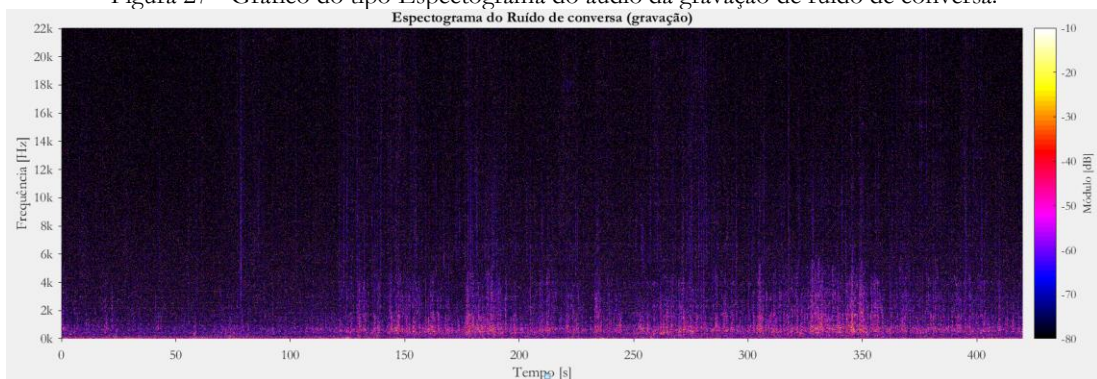
Para o próximo experimento, o ruído residual a ser utilizado para a auralização será composto por conversas de pessoas no corredor central da universidade. Esse áudio foi gravado durante o turno vespertino em um dia típico de aulas no Setor IV da UFRN e possui 21 minutos e 33 segundos de duração, tendo sido cortado em 7 minutos para a auralização e uso no experimento (Figura 26). O gráfico da Figura 27 indica que há mais presença de frequências agudas nesse áudio em comparação com o anterior, havendo uma predominância nas faixas de frequência entre 500 e 1000 Hz.

Figura 26 - Gráfico da amplitude no tempo do áudio da gravação de ruído de conversa.



Fonte: Autora (2023).

Figura 27 - Gráfico do tipo Espectrograma do áudio da gravação de ruído de conversa.



Fonte: Autora (2023).

Para a gravação, foi utilizado um microfone condensador omnidirecional Behringer modelo ECM8000 para captar o áudio, sendo posicionado às margens da circulação central do Setor IV (Figura 28). O microfone estava conectado a uma placa de som, que, por sua vez, estava conectada a um *laptop* que usava o software Audacity® para a gravação do áudio (Figura 29). Esse áudio foi salvo no formato .wav para posteriores pós-processamentos.

Figura 28 - Posição do microfone para captação de áudio de conversas no corredor central do Setor IV.



Fonte: Autora (2023).

Figura 29 - Sistema utilizado para gravação do áudio composto por microfone, placa de som e laptop.

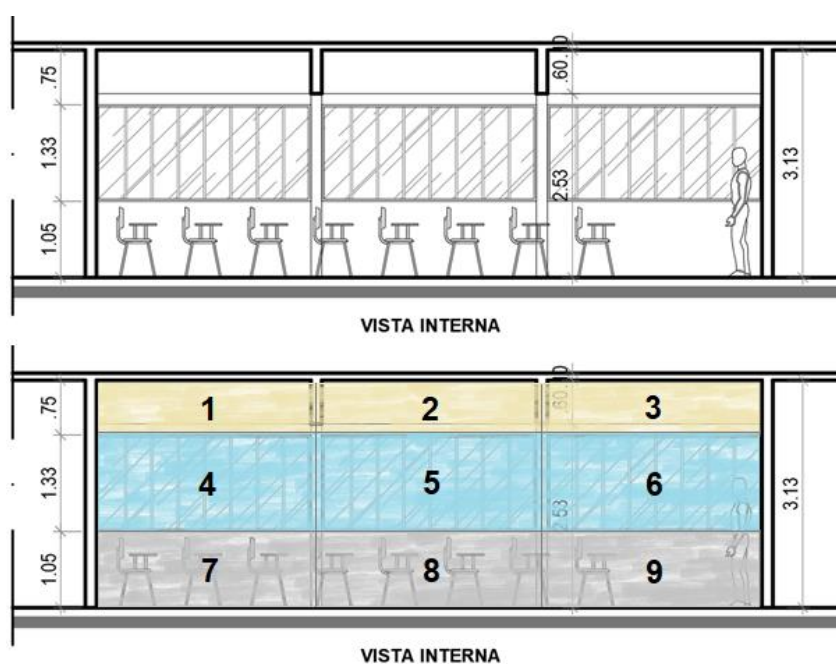


Fonte: Autora (2023).

2.2.3 Filtros de isolamento acústico

Filtros de isolamento acústico foram criados no MATLAB® baseados nos cálculos propostos pela ISO 12354-3 (ISO, 2017b). Um deles considerava a situação real da sala, com esquadria de alumínio e vidro com baixo desempenho acústico. O outro considerava uma esquadria com melhor desempenho acústico, o que mudava o espectro do som filtrado, enquanto os outros materiais permaneceram com as mesmas características. Considerando a posição do aluno olhando para a parede do quadro branco (frente), a parede posicionada ao seu lado esquerdo foi dividida em 9 áreas a partir dos tipos de materiais e junções com flancos para a criação dos filtros.

Figura 30 - Corte longitudinal da Sala C05 com indicação das áreas em que a parede foi dividida para criação dos filtros.



Fonte: Adaptado de Superintendência de Infraestrutura da UFRN (2017).

Foram então criados 9 filtros distintos para cada condição, convoluídos individualmente com a gravação do ruído de tráfego, gerando um áudio filtrado a partir do tipo de material da fachada a fim de representar o isolamento sonoro daquela área. Cada área da parede teve um áudio filtrado atribuído a ela e a fonte sonora foi localizada no centro desta. A localização de cada fonte sonora foi conferida no software Reaper® para garantir a fidedignidade da localização no áudio *Ambisonics* utilizando-se o *plugin* SPARTA, criado pela Aalto University, através da ferramenta “sparta_powermap” para verificação da localização de onde é proveniente a energia sonora considerando o áudio biauricular, como ilustrado na Figura 31 e na Figura 32. Em seguida, os 9 áudios filtrados foram combinados para criar um único filtro a ser usado na aurilização.

Figura 31 - *Plot* da localização da energia proveniente do filtro na Posição 8.

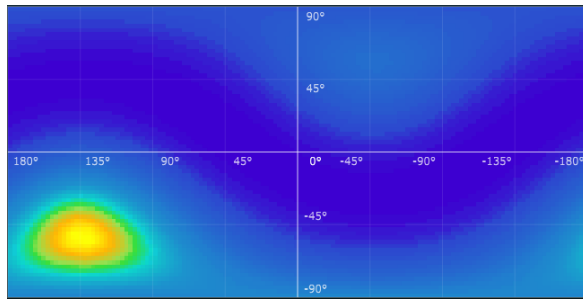
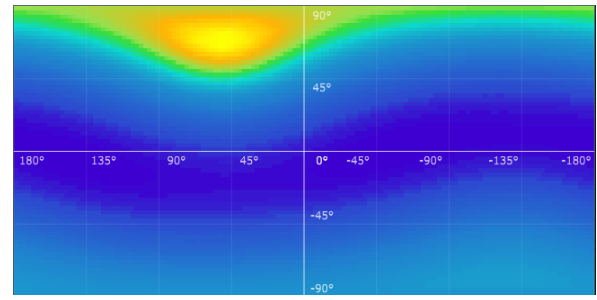


Figura 32 - *Plot* da localização da energia proveniente do filtro na Posição 3.



2.2.4 Condições acústicas

Para realizar o experimento foi utilizado um *script* no MATLAB® no qual a gravação do áudio de tráfego, depois de convoluída com o filtro de isolamento, foi convoluída novamente com a resposta impulsiva da sala simulada, resultando em um único arquivo de áudio para ser usado no ambiente de realidade virtual, gerando o produto da auralização. O arquivo de áudio gerado era do tipo *Ambisonics*, ou seja, o som contido no áudio tinha uma posição específica a partir de um vetor que indica a posição da cabeça do ouvinte. Neste caso, se o ouvinte, durante o teste em realidade virtual, girasse a cabeça em qualquer sentido, o som reproduzido nos fones de ouvido ainda seria associado à posição da fachada com janelas à esquerda do ouvinte.

Como explicado anteriormente, foram geradas duas respostas impulsivas da sala em questão, sendo uma validada pela medição acústica em sala real e outra simulada de acordo com os parâmetros recomendados pela BB93 (DEPARTMENT FOR EDUCATION, 2015). Foram gerados também dois filtros de isolamento acústico de fachada, no qual um simulava a situação real e outro uma situação hipotética com esquadria de melhor desempenho acústico. Sendo assim, obteve-se tanto uma resposta impulsiva como um filtro de isolamento acústico considerados bons e outros considerados ruins.

Cada resposta impulsiva foi combinada com um áudio filtrado para gerar condições acústicas distintas para análise em realidade virtual. Uma condição chamada “silêncio” também foi inserida, na qual o áudio utilizado foi ruído rosa para mascarar possíveis ruídos no laboratório durante o experimento. A Tabela 3 traz um resumo das condições utilizadas no experimento realizado.

Tabela 3 - Condições acústicas aurilizadas e suas características.

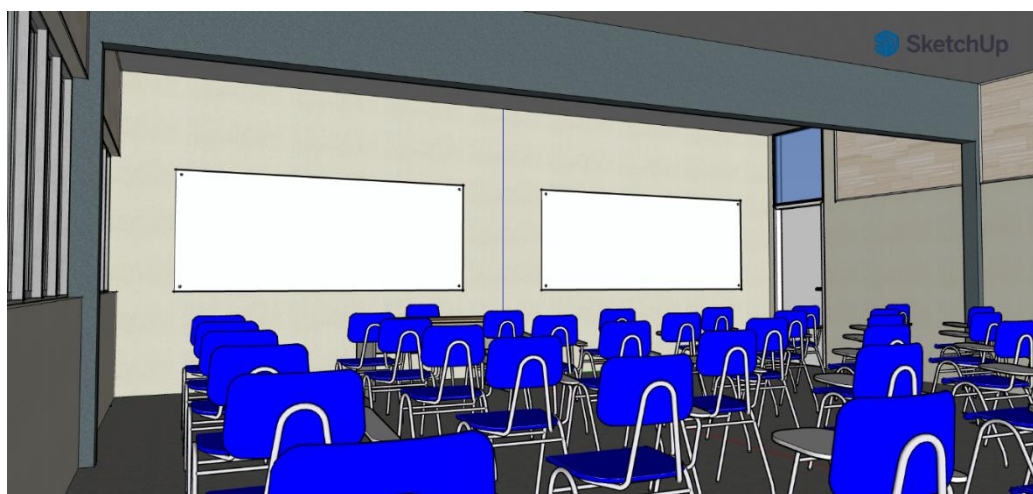
Nomenclatura da condição acústica	Resposta impulsiva (TR em 500Hz)	Filtro de isolamento acústico (L_{Acq})	Tipo de áudio gerado na aurilização
RI_ruim_IS_ruim (Condição 01)	Sala real (2,2 s)	Sala real (50 dB)	De maior intensidade e em ambiente com tempo de reverberação mais longo
RI_boa_IS_ruim (Condição 02)	Sala hipotética (0,6 s)	Sala real (50 dB)	De maior intensidade e em ambiente com tempo de reverberação mais curto
RI_ruim_IS_boa (Condição 03)	Sala real (2,2 s)	Sala hipotética (35 dB)	De menor intensidade e em ambiente com tempo de reverberação mais longo
RI_boa_IS_boa (Condição 04)	Sala hipotética (0,6 s)	Sala hipotética (35 dB)	De menor intensidade e em ambiente com tempo de reverberação mais curto
RI_silêncio (Condição 05)	---	---	Ruído rosa

Legenda: RI – Resposta Impulsiva; IS – Isolamento Sonoro

2.2.5 Modelagem do ambiente em realidade virtual (RV)

A Sala C05 da UFRN foi modelada novamente no software Sketchup[®], desta vez com mais detalhes e associando os materiais minimamente parecidos visualmente com a superfície correspondente. A sala foi modelada incluindo detalhes como a lousa de vidro, as esquadrias com caixilhos e as carteiras estudantis. É possível ver o modelo detalhado na Figura 33 a partir de uma posição do observador no fundo da sala.

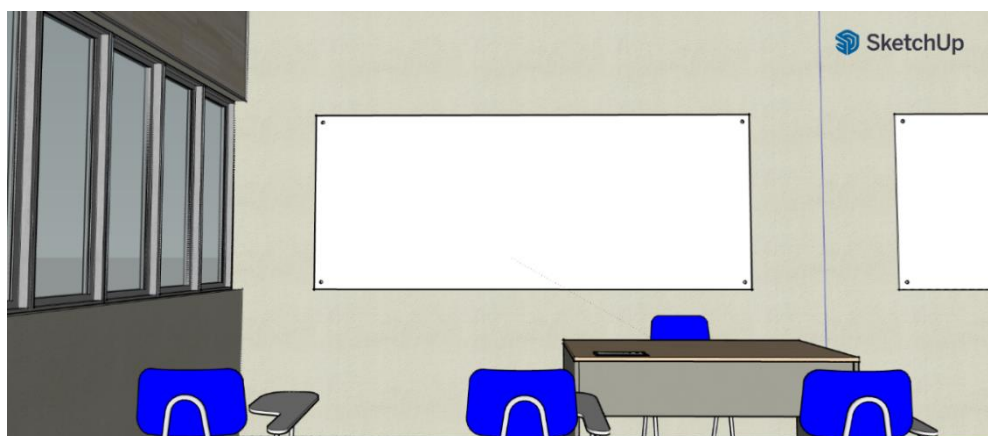
Figura 33 - Modelo virtual da Sala C05 criado a partir do software Sketchup.



Fonte: *printscreen* de modelagem da autora no software Sketchup[®] (2023).

Para a aplicação desse ambiente em realidade virtual, o modelo foi importado no software Unity® para configurações voltadas à RV. Foram aplicados, a partir dos materiais usados no Sketchup®, outros materiais com características de fotorrealismo, dentre elas textura, brilho e reflexão. Foram também configuradas as luzes no ambiente interno. A posição do usuário no ambiente de realidade virtual foi configurada para estar na mesma posição do Receptor P01, tendo à sua frente uma das lousas de vidro e à esquerda a fachada com esquadrias, como pode ser visto na Figura 34.

Figura 34 - Vista do usuário a partir da localização do Receptor P01 no modelo do software Sketchup.



Fonte: *printscreen* de modelagem da autora no software Sketchup® (2023).

No software Unity®, versão para estudante, a configuração do teste realizado por (HEIMES; MUHAMMAD; VORLÄNDER, 2020) foi utilizada e adaptada para o teste a ser realizado neste estudo. O modelo virtual gerado no Sketchup® foi importado e configurado, sendo depois inserida a lâmina de *slide* projetada em frente à lousa de vidro na qual o teste seria disposto (Figura 35), conforme metodologia usada no estudo mencionado.

Figura 35 - Cena inicial vista pelo participante no ambiente de realidade virtual no software Unity®.

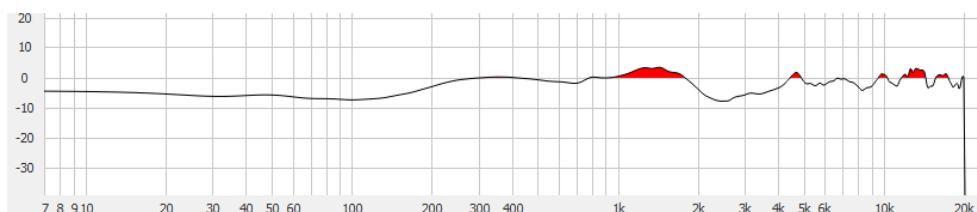


Fonte: *printscreen* do software Unity® (2023).

Na aba de programação do Unity® foram criados cinco cenários, nos quais cada um continha o mesmo ambiente e mesma configuração de teste, mas com sons aurilizados distintos. Foi programado que cada cenário fosse reproduzido de forma aleatória de acordo com o quadrado latino a cada novo participante, começando sempre com um cenário diferente de acordo com a ordem de números utilizadas no campo “Participant_ID”. Essa aleatoriedade foi incluída a fim de evitar que a fadiga dos participantes interferisse nos resultados do último cenário avaliado.

Para a visualização do cenário em realidade virtual e audição dos sons aurilizados, o participante utilizava um conjunto de aparelhos. O fone de ouvido do modelo Sony WH-1000XM3 foi equalizado conforme mostrado na Figura 36, tendo os picos destacados em vermelho corrigidos. Além disso, o participante utilizava óculos de realidade virtual e seu controle remoto do modelo VIVE Pro Eye, bem como o fone de ouvido conectado a uma placa de som Focusrite (Figura 37).

Figura 36 - Curva de resposta do fone de ouvido após equalização.



Fonte: Autora.

Figura 37 - Conjunto de equipamentos utilizados pelos participantes durante o teste.



Fonte: Autora.

Considerando que o volume da placa de som e do computador poderiam ser alterados e causar diferentes sensações aos participantes, os fones de ouvido foram calibrados usando uma cabeça artificial (*dummyhead*, em inglês) da fabricante HEAD Acoustics (Figura 38). Para isso, a

placa de som foi primeiramente conectada ao calibrador de voltagem, calibrada e depois conectada ao amplificador de carga Nexus da fabricante B&K (Figura 39) para calibrar o nível sonoro proveniente do computador, que teve o volume ajustado para 100%. As condições de isolamento ruins foram calibradas, então, para serem reproduzidas em nível de pressão sonora equivalente de 50 dB. No Unity®, as condições com isolamento bom foram ajustadas para serem reproduzidas ao nível de 35 dB.

Figura 38 - Cabeça artificial utilizada para calibração dos níveis de pressão sonora emitidos pelos fones de ouvido nos testes.



Fonte: Autora.

Figura 39 - Equipamentos utilizados na calibração do nível de pressão sonora nos fones de ouvido através da cabeça artificial.



Fonte: Autora.

Essa calibração foi realizada considerando que os testes seriam repetidos no Brasil e para garantir uma forma de calibrar os fones de ouvido, uma orelha impressa tridimensionalmente em resina foi usada para uma nova medição dos níveis de pressão sonora nas diferentes condições. A Figura 40 mostra os equipamentos e peças utilizados para a calibração e a Figura 41 mostra como a calibração pode ser realizada. Essa orelha funciona como um adaptador, que pôde ser transportado para o Brasil, e garante uma calibração através do uso de um sonômetro para os mesmos níveis sonoros utilizados no teste realizado como estudo piloto.

Figura 40 - Equipamentos utilizados na calibração para reprodução em outras condições.



Fonte: Autora.

Figura 41 - Medição de nível de pressão sonora sendo realizada através da metodologia para calibração em outras condições.



Fonte: Autora.

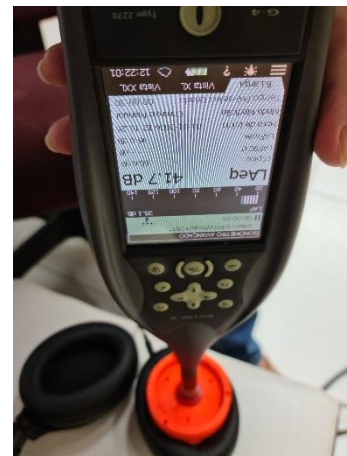
No Brasil, o teste foi realizado no Laboratório de Experimentação de Jogos do Instituto Metrópole Digital (IMD) da UFRN. Para tal, foi-se utilizado o conjunto de HMD Pro Vive similar ao usado na Alemanha. O fone de ouvido foi o mesmo usado no estudo piloto (Figura 42) e foi calibrado com a orelha impressa em 3D para obter o mesmo nível de pressão sonora nos fones de ouvido conforme utilizado anteriormente. Na Figura 43 pode-se ver como o procedimento foi realizado, sendo ajustado o volume da saída de áudio na placa de som até obter os níveis corretamente calibrados.

Figura 42 - Equipamentos utilizados na aplica o do experimento no Brasil (HMD, controle remoto, placa de som e fones de ouvido).



Fonte: Autora (2023).

Figura 43 - Procedimento de calibra o de nível de pressão sonora equivalente nos fones de ouvido usando orelha impressa em 3D.



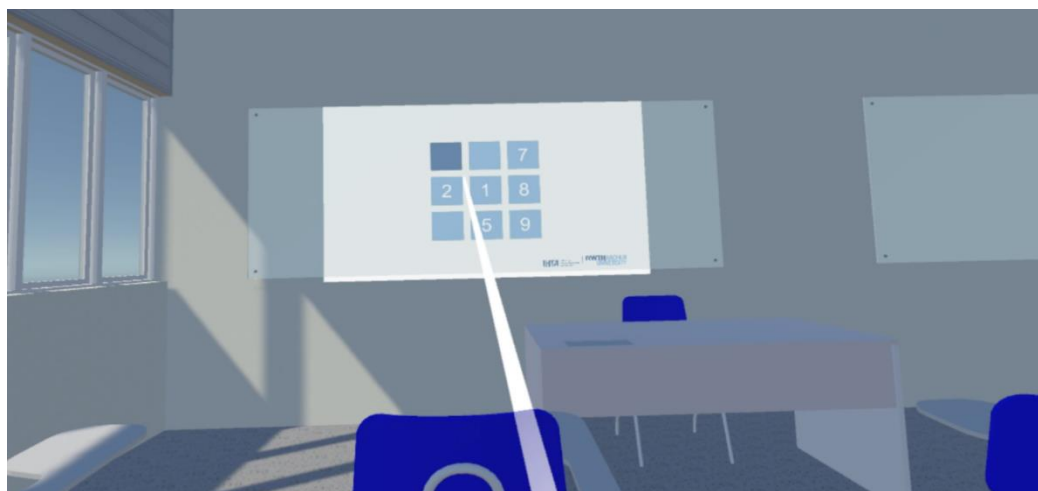
Fonte: Autora (2023).

2.3 Testes de desempenho cognitivo (“*serial recall test*”)

Os testes de desempenho cognitivo, do tipo originalmente chamado de “*serial recall test*”, consistem em testes para avaliar o desempenho cognitivo do participante em função da memorização de dígitos em séries aleatórias.

Este tipo de teste consiste na memorização de dígitos numéricos de 1 a 9 em ordem aleatória e a consequente repetição desta ordem após um período curto de pausa. Para este trabalho, os números apareciam, um por vez, no quadro branco da sala de aula virtual, que permanecia em branco por 10 segundos (tempo de pausa) e em seguida mostrava botões com números de 1 a 9, aos quais o participante deveria clicar com o auxílio de um controle remoto na mesma ordem em que estes dígitos foram dispostos (Figura 44). O participante dispunha de 10 segundos para clicar nos botões, que desapareciam do quadro branco virtual após o término da tarefa ou do tempo. Antes de começar uma nova sequência de dígitos, o participante via um retângulo piscar por três vezes durante três segundos, anunciando o começo de uma nova lista.

Figura 44 - Imagem que o participante vê durante a etapa do teste na qual deve apertar botões dos dígitos na mesma ordem da memorização.



Fonte: *printscreen* do software Unity® (2023).

A fim de possibilitar uma familiarização do participante com o método de teste e os equipamentos, um bloco com três repetições do teste era realizado antes de começar o teste real. Em cada uma das condições acústicas, o teste era repetido 12 vezes, totalizando 60 testes de recuperação seriada por participante (Figura 45).

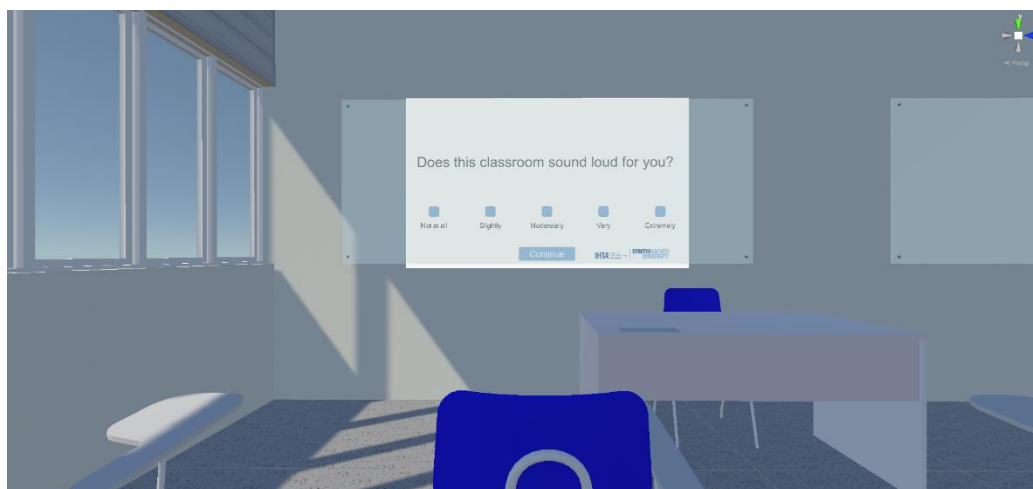
Figura 45 - Participante durante aplicação do teste.



Fonte: Autora (2021).

Após cada uma das condições acústicas, o participante respondia um questionário para o qual foi utilizada a escala de Likert, que consiste em uma escala de respostas de questionário de perguntas fechadas ou neutras com objetivo mensurar a intensidade de opinião do participante através de cinco pontos que variam de um extremo ao outro (NOGUEIRA, 2002). Para todas as perguntas, as cinco possíveis opções de respostas eram: “muito pouco”, “pouco”, “moderadamente”, “muito” e “extremamente” (Figura 46).

Figura 46 - Cena vista pelo participante durante as perguntas do questionário.



Fonte: *printscreen* do software Unity® (2023).

O questionário apresentava uma pergunta por tela, sendo dispostas na seguinte ordem:

1 – Esta sala de aula soa barulhenta para você?

- 2 – Quão reverberante é essa sala de aula para você?
- 3 – Como você percebe a duração do tempo de reverberação nessa sala de aula?
- 4 – Quão claro o ruído de fundo soa para você?
- 5 – Quão irritado(a) você se sentiu nessa sala de aula?
- 6 – Quão concentrado(a) você precisou ficar para finalizar o teste nessa sala de aula?
- 7 – Quão difícil foi o teste nessa sala de aula?
- 8 – Quão perturbador foi o ruído de fundo nessa sala de aula para você?
- 9 – Quanto esforço você precisou fazer para realizar a tarefa nessa condição?

As perguntas foram previamente explicadas aos participantes, que foram questionados quanto ao entendimento delas. Para melhor entendimento, o termo “ruído de fundo” foi usado nas questões em vez de “ruído residual”. Após o fim dos cinco blocos de 12 testes de uma condição acústica e questionário a respeito desta, o participante via uma tela que indicava o fim do teste e um agradecimento por participar. Ao fim, foi perguntado pessoalmente aos participantes se eles tinham alguma ressalva quanto ao teste, bem como foram coletados dados sobre idade e escolaridade. Os participantes no Brasil responderam também se já haviam realizado audiometria e se percebiam alguma perda auditiva. As imagens vistas pelos participantes, tanto na Alemanha quanto no Brasil, estão apresentadas no Apêndice B.

Na Alemanha, o teste foi realizado no Laboratório de Realidade Virtual do IHTA (*Laboratory of Virtual Reality - LVA*), que está localizado no subsolo da edificação, em área de pouco fluxo de pessoas e é uma sala “morta”, com baixo tempo de reverberação. No Brasil, o teste foi realizado no Laboratório de Experimentação de Jogos do Instituto Metrópole Digital (IMD) da UFRN (Figura 47). Esse laboratório possui forro acústico, mas está localizado ao lado de um corredor de circulação central conectado ao mezzanino do prédio e não possui isolamento acústico adequado, estando suscetível a possíveis ruídos externos. Vale ressaltar também que o ruído do ar-condicionado do ambiente é perceptível, sendo medido o L_{Aeq} igual a 47 dB e, portanto, o cancelamento de ruído ativo dos fones de ouvido foi utilizado.

Figura 47 - Participante realizando o teste no IMD-UFRN.



Antes da realização do teste com brasileiros, foi submetido um projeto de pesquisa na Plataforma Brasil analisado pelo Comitê de Ética do HUOL-UFRN, aprovado pelo parecer nº 5.389.129, apresentado no Anexo I.

2.4 Análise estatística dos resultados do teste subjetivo

O planejamento do experimento para análise estatística foi separado em duas etapas, sendo a primeira o experimento piloto e a segunda, o experimento objeto. O experimento piloto considera somente o ruído de tráfego como fonte sonora, havendo sido aplicado durante doutorado sanduíche na RWTH Aachen. O experimento objeto é dividido em duas etapas, ambas aplicadas no Brasil, sendo a primeira aplicada com ruído de tráfego e a segunda, com ruído de conversa.

Para o experimento piloto, foi selecionada uma amostra de 16 participantes⁴ dentre uma população de alunos de pós-graduação do IHTA, RWTH Aachen, onde este experimento foi conduzido. A escolha desta população e amostra se deu em função das restrições existentes na época da aplicação do experimento em virtude da pandemia de Covid-19. Para a população analisada, três características descritivas foram levadas em consideração: o gênero foi escolhido aleatoriamente, havendo restrição quanto ao nível de escolaridade (pós-graduação nos níveis de mestrado ou doutorado finalizada ou em andamento) e nacionalidade ou tempo residente no país (nativo ou morando no país há pelo menos 3 anos). Esta última característica foi considerada uma

⁴ Ao todo, 17 participantes realizaram o teste, porém um participante (Participante 7) afirmou, ao final do experimento, ouvir interferências durante o seu teste, sendo, portanto, descartado da análise.

restrição em função do país ser culturalmente menos permissivo com ruídos urbanos perturbadores, além de estar localizado em região de clima temperado, o que implica em manter as janelas fechadas por mais tempo, fazendo com que a população seja adaptada a níveis menos intensos de ruídos residuais em ambientes internos.

Para o experimento objeto com ruído de tráfego, no Brasil, 17 participantes voluntários realizaram o teste. Foram seguidos os mesmos critérios dos participantes da Alemanha, à exceção do tempo de moradia no país. Por serem participantes que não estudam acústica diretamente, estes participantes são considerados leigos quanto aos termos técnicos e tiveram uma explicação mais detalhada do teste e do questionário, incluindo explicação de conceitos relacionados.

Já para o experimento objeto com ruído de conversa, também no Brasil, 44 participantes voluntários realizaram o teste. Seguiram-se os mesmos critérios e estes também foram considerados participantes leigos quanto ao tema.

O objetivo desta análise é avaliar as estatísticas descritivas do comportamento das respostas sob efeito dos fatores (condições acústicas). Cada um dos experimentos e cada uma das condições acústicas foram considerados como um fator de influência na resposta do participante, sendo a última dada em percentual de acertos do teste cognitivo de recuperação de memória. Sendo assim, os fatores usados na análise estatística foram:

F₁: Fator experimento, contendo dois níveis: experimento piloto (realizado na Alemanha) e experimento objeto (realizado no Brasil), sendo a fonte sonora tráfego utilizada em ambos os experimentos;

F₂: Fator condição acústica, contendo cinco níveis, descritos a seguir:

N₁: Resposta impulsiva ruim combinada com isolamento sonoro ruim, representado pela abreviação “RI_ruim_IS_ruim”;

N₂: Resposta impulsiva boa combinada com isolamento sonoro ruim, representado pela abreviação “RI_boa_IS_ruim”;

N₃: Resposta impulsiva ruim combinada com isolamento sonoro bom, representado pela abreviação “RI_ruim_IS_boa”;

N₄: Resposta impulsiva boa combinada com isolamento sonoro bom, representado pela abreviação “RI_boa_IS_boa”;

N₅: Ruído rosa para mascaramento de ruídos existentes no laboratório durante o experimento e caracterização desta condição como silenciosa, representado pela abreviação “RI_silêncio”.

Após realização do experimento com os 16 participantes na Alemanha e 17 participantes no Brasil, foi montado um banco de dados para análise do experimento no software Excel. Essa análise foi exploratória, de modo a identificar o comportamento das respostas, baseado na média do percentual de acertos.

O experimento piloto foi, primeiramente, investigado a partir de uma análise fatorial, na qual hipóteses foram elaboradas para analisar o efeito do fator F₂ “condição acústica” sobre a resposta principal. Tem-se, então, uma hipótese nula (H₀) e uma hipótese alternativa (H₁):

H₀: a variação dos níveis do fator não altera a resposta principal definida em percentual de acertos;

H₁: a resposta principal, definida em percentual de acertos, varia de acordo com a mudança dos níveis do fator ao qual a amostra está exposta.

De acordo com os objetivos desta tese, o experimento piloto, cuja fonte sonora foi o tráfego, foi repetido para uma ampliação da amostra, sendo desta vez realizado com brasileiros. Com este novo banco de dados, acrescenta-se um novo nível ao fator F₁ “fator experimento”, comparando os resultados obtidos na Alemanha e no Brasil, sendo formulada novas hipóteses para esta análise:

H₀: a variação dos fatores não altera a resposta principal definida em percentual de acertos;

H₁: a resposta principal, definida em percentual de acertos, varia de acordo com a mudança dos fatores ao qual a amostra está exposta.

Estas hipóteses testam, então, se há ou não diferença entre os experimentos realizados na Alemanha e no Brasil, visto que as características culturais de cada população analisada são diferentes, embora as características descritivas (gênero, nível de escolaridade e nacionalidade ou tempo residente no país) sejam fixadas a um intervalo específico.

Por fim, uma última hipótese foi testada com intuito de verificar interações entre as condições acústicas testadas. A análise da hipótese supracitada irá determinar se deveria haver separação ou não do fator F₁ “fator experimento” para determinar a amostra desta nova análise. Para isto, tem-se como hipóteses:

H₀: não há interação entre as respostas, definidas em percentual de acertos, dos níveis do fator F₂ “condição acústica”;

H₁: a resposta principal, definida em percentual de acertos, apresenta interação entre pelo menos dois níveis do fator F₂ “condição acústica”.

Após o experimento objeto realizado no Brasil com a fonte sonora tráfego, outro experimento, desta vez com ruído de conversa como fonte sonora, foi realizado e analisado estatisticamente sob as mesmas hipóteses, havendo comparação com o experimento com ruído de tráfego e com os níveis entre si.

Capítulo 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

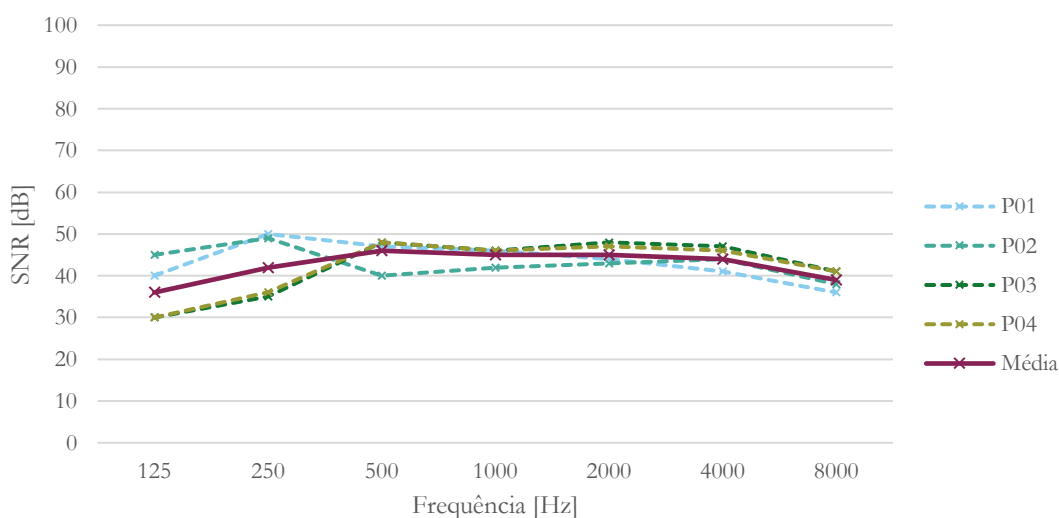
Este capítulo apresenta os resultados das etapas da pesquisa realizada nesta tese. Serão relatados os resultados das medições de resposta impulsiva realizada na sala de aula C05 do Setor IV da UFRN, as simulações dessa sala no software RAVEN do IHTA-RWTH e os resultados dos experimentos em realidade virtual com teste de desempenho cognitivo através da influência de sons aurilizados sob diferentes condições acústicas.

3.1 Resultados das medições de resposta impulsiva

A Sala C05 do Setor IV da UFRN teve sua resposta impulsiva medida de acordo com a metodologia especificada no tópico Medição de resposta impulsiva, seguindo os procedimentos indicados pela ISO 3382-2 (STANDARD INTERNATIONAL ORGANIZATION, 2009). Os resultados são expostos considerando as bandas de 1/1 oitava entre 125 e 8000 Hz.

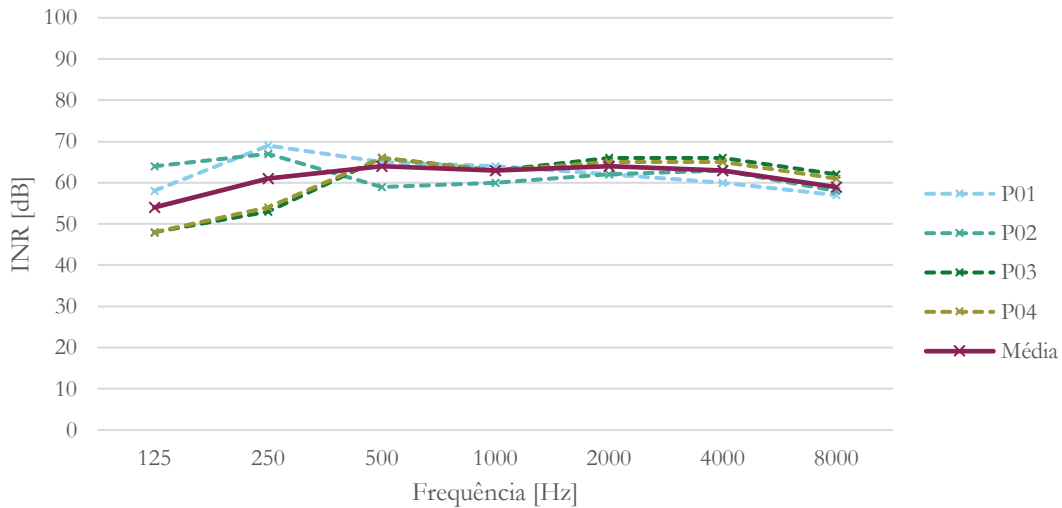
Para validação da medição, os valores de SNR e INR foram verificados, sendo apresentados nos gráficos da Figura 48 e da Figura 49, respectivamente. A ISO 3382-2 recomenda que o SNR [dB] seja igual ou maior que 35 dB, enquanto o INR [dB] deve ser igual ou maior que 45 dB quando considerada a medição de T_{30} . Nas medições realizadas, o SNR permaneceu acima de 35 dB em todos os pontos e frequências, à exceção dos Receptores P₀₃ e P₀₄ na frequência de 125 Hz, o que foi considerado adequado e válido para a medição.

Figura 48 - Gráfico da Relação Sinal-Ruído (SNR) medida em cada ponto receptor.



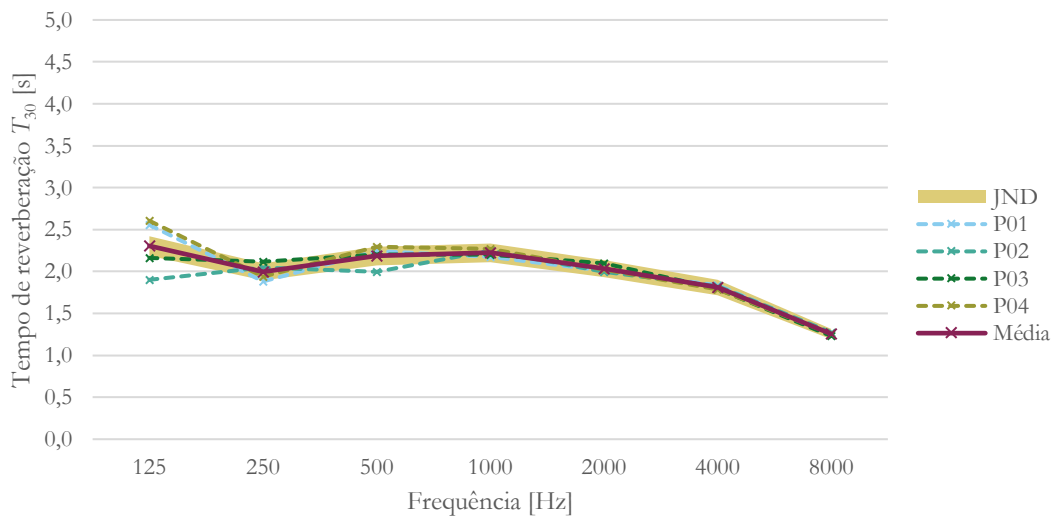
Quanto ao INR, todos os pontos apresentaram valores acima de 45 dB, sem exceção, em todas as frequências. Com isso, será utilizado aqui o valor de T_{30} para ilustrar o tempo de reverberação da sala medida.

Figura 49 - Gráfico da Relação Resposta Impulsiva-Ruído (INR) medida em cada ponto receptor.



O tempo de reverberação T_{30} medido variou de 1,2 segundo a 2,6 segundos em diferentes frequências e posições (Figura 50). A frequência de 125 Hz apresentou valores com diferença de até 0,7 segundos entre si, estando apenas o Receptor P₀₃ dentro dos limites do JND de 5% a partir da média de valores. Essa variação é esperada em função da resposta da caixa de som omnidirecional.

Figura 50 - Gráfico do Tempo de Reverberação (T_{30}) medido em cada ponto receptor.

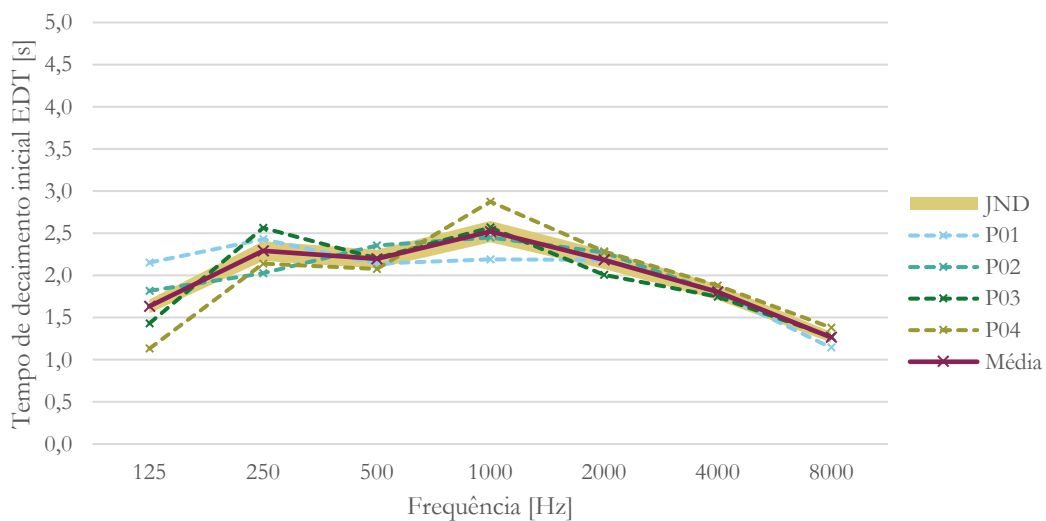


Outra frequência que apresenta um valor fora dos limites do JND é a de 500 Hz, estando o Receptor P₀₂ abaixo do JND obtido através da média. No entanto, quanto menor o valor de T_{30} ,

neste caso, melhor, visto que a sala possui um tempo de reverberação elevado para os padrões recomendados para salas de aula. Em todas as outras frequências os valores medidos nos pontos de receptor estão dentro dos limites do JND, variando em menos de 0,2 segundos entre si.

O EDT, no entanto, não acompanha a mesma tendência do T_{30} visto que contempla apenas os primeiros 10 dB do decaimento sonoro e, portanto, apresenta maior interferência da posição do receptor em relação à energia recebida e o tempo para tal decaimento. Apenas na frequência de 4000 Hz os pontos de receptor apresentaram valores dentro dos limites do JND, conforme apresentado no gráfico da Figura 51. Nas frequências de 125 e 250 Hz nenhum dos pontos de receptor teve seus valores dentro dos limites do JND a partir da média dos valores medidos em cada uma das frequências.

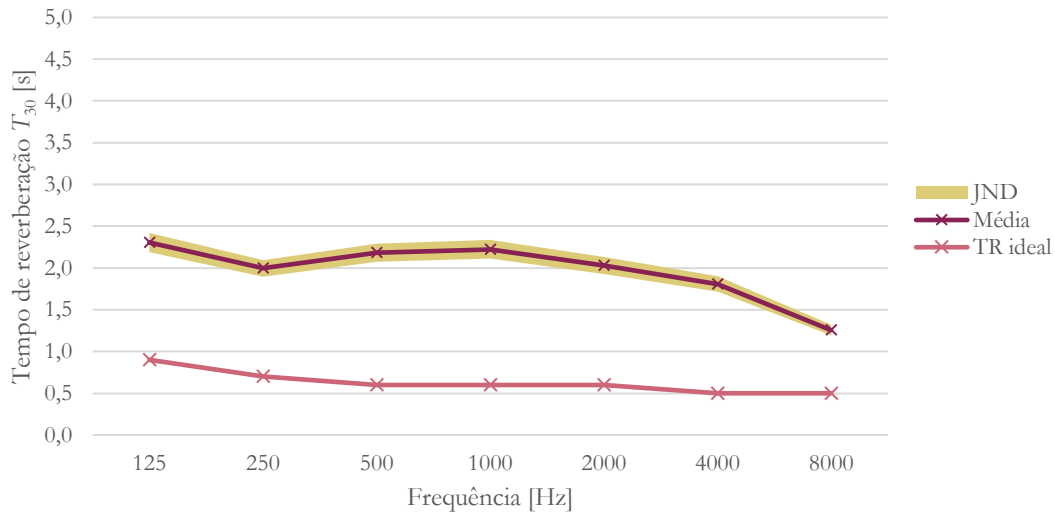
Figura 51 - Gráfico do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) medido em cada ponto receptor.



Considerando os valores de tempo de reverberação medidos na Sala C05 e aqueles tidos como ideal ou recomendados pela BB93 (DEPARTMENT FOR EDUCATION, 2015), a diferença é maior que 1 segundo em todas as frequências, à exceção de 8000 Hz, como observado no gráfico da Figura 52.

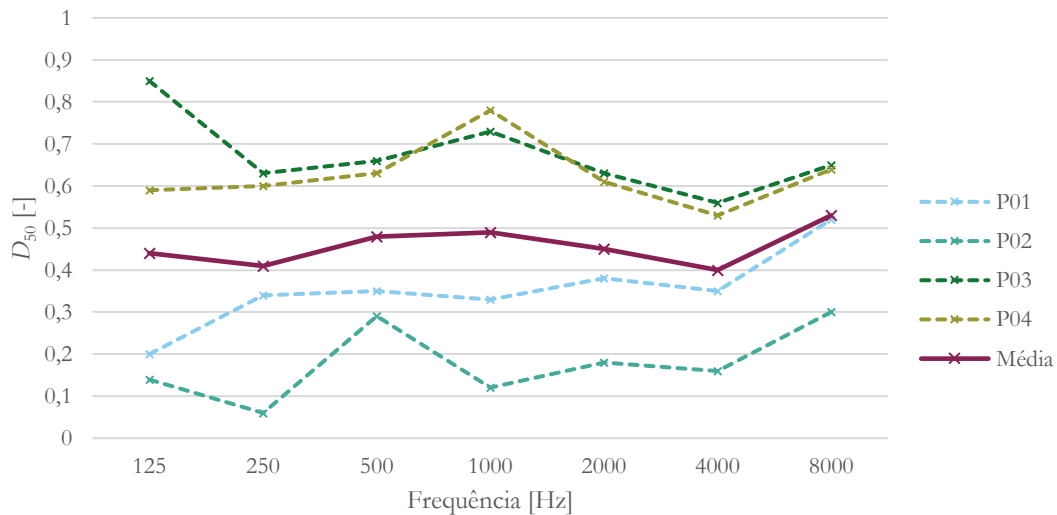
As frequências de 500 e 1000 Hz, consideradas as mais importantes para o espectro da voz e de suma importância na acústica de salas de aula, apresentaram tempo de reverberação 1,6 segundos maior que o recomendado. O JND dos valores recomendados como tempo de reverberação ideal é tão pequeno, visto que o TR ideal tem valores baixos, que se tornam irrelevantes para apresentação no gráfico por variarem menos de 0,1 segundos entre os dois limites de JND para cada frequência.

Figura 52 - Gráfico comparativo entre T_{30} medido e recomendado pela BB93.



Comparando-se os valores medidos com os valores propostos como ideal para salas de aula, vê-se que a sala de aula medida apresenta um tempo de reverberação muito elevado em comparação com os valores tidos como ideais. Isto implica numa menor Definição da fala, como pode-se observar no gráfico da Figura 53.

Figura 53 - Gráfico da Definição (D_{50}) medida em cada ponto receptor.



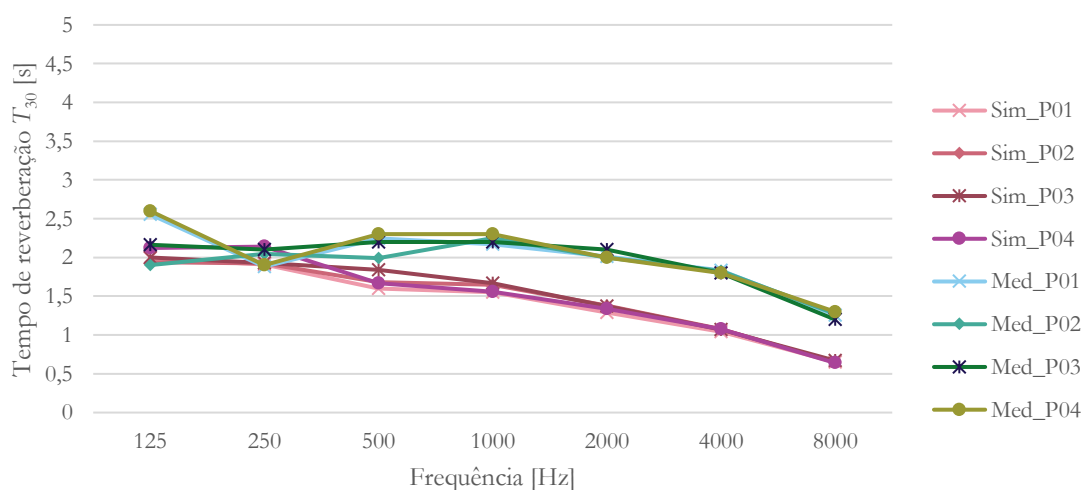
Quanto maior o tempo de reverberação, menor a Definição da fala, já que esta relaciona a energia percebida nos primeiros 50 milissegundos, ou seja, as primeiras reflexões, e a energia total. O ideal é que este valor seja maior que 0,5, podendo estar contido dentro dos valores de JND, que considera um intervalo de 0,05 para menos e para mais. De acordo com o gráfico da Figura 53, observa-se que a média do D_{50} na sala de aula medida está abaixo dos 0,5 recomendados muito em função dos Receptores P_{01} e P_{02} , localizados na frente da sala e, portanto, receptores de muita energia do som direto e pouca energia inicial refletida. Comparando com a energia total da sala,

percebe-se que a D_{50} menor que 0,5 indica que a energia inicial representa menos que metade da energia total prejudicando a definição da fala nesses pontos receptores. O Receptor P_{02} é ainda menos influenciado que o P_{01} pela cauda reverberante, o que pode implicar dizer que a posição do Receptor P_{02} recebe mais energia das primeiras reflexões que o Receptor P_{01} . Isto pode ser devido à proximidade de Receptor P_{02} com uma parede lateral. O Receptor P_{01} , no entanto, também apresenta valores de D_{50} menores que 0,5 em todas as frequências, à exceção de 125 e 8000 Hz, de forma muito mais linear e sem variações significativas entre frequências.

3.2 Resultados das simulações e aurilizações

A Sala C05 foi modelada no software Sketchup® e importada para o RAVEN utilizando-se a interface do MATLAB® para simulação. Após realização dos procedimentos descritos no tópico 2.2.1, a resposta impulsiva da sala foi simulada e comparada com os resultados das medições *in loco*. Os resultados foram comparados ponto a ponto conforme pode ser visto no gráfico da Figura 54. Embora os valores simulados também tenham ficado consideravelmente próximos entre si, se mostraram mais baixos que os valores medidos, chegando a apresentar valores menor que 1,0 segundo de tempo de reverberação em 8000 Hz. Ainda que os resultados simulados mostrem uma sala acusticamente inadequada para o uso, a simulação não pôde ser validada por apresentar valores discrepantes em relação aos medidos na sala de aula existente.

Figura 54 - Gráfico comparativo de T_{30} entre medição e simulação.



A Tabela 4 contém a diferença de valores medidos e simulados. Apenas o Receptor P_{01} na frequência de 250 Hz e o Receptor P_{02} na frequência de 125 Hz apresentaram valores iguais entre métodos.

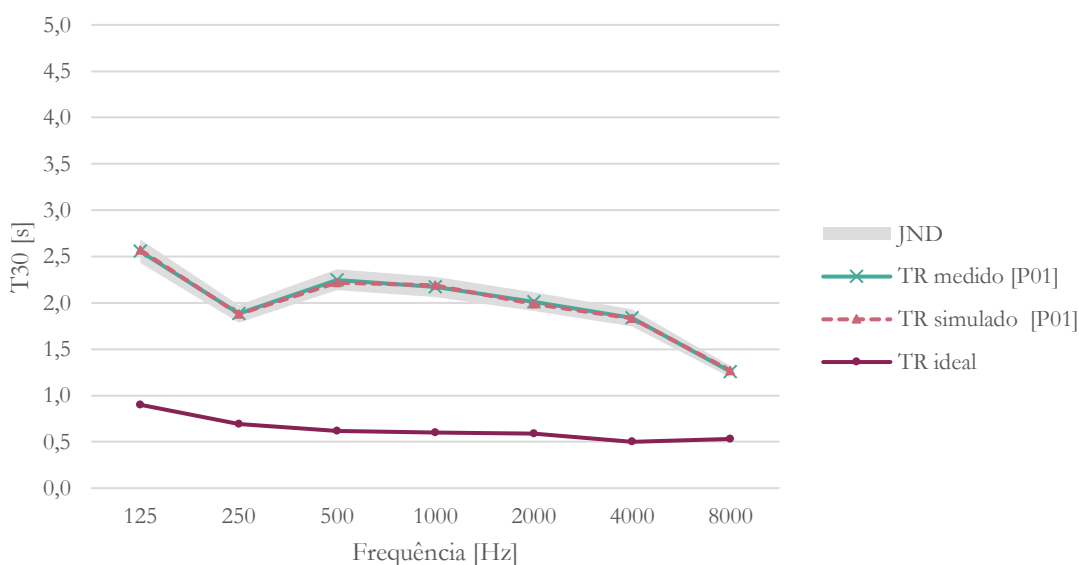
Tabela 4 - Diferença (em módulo) entre T_{30} simulado e medido.

Frequência [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
P ₀₁	0,6	0,0	0,6	0,6	0,7	0,8	0,6
P ₀₂	0,0	0,1	0,3	0,6	0,6	0,7	0,6
P ₀₃	0,2	0,2	0,4	0,5	0,7	0,7	0,5
P ₀₄	0,5	0,2	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7

Foi visto, então, que o uso de materiais pré-definidos no RAVEN superestimava o valor da absorção total da sala em comparação com a sala de aula real, resultando em um tempo de reverberação abaixo do medido. Portanto, foi usada a ferramenta “RT_target” (comando ‘*adjustAbsorptionToMatchReverbTime*’ no MATLAB[®]) para estipular quais os valores de tempo de reverberação em cada frequência devem ser obtidos após a simulação. Com isso, o RAVEN ajusta a absorção dos materiais para que os valores inseridos sejam atingidos. Considerando que se previa uma mudança no forro da sala para melhoria do tempo de reverberação, o material aplicado ao forro manteve os coeficientes de absorção já utilizados, sendo aplicada a alteração somente nos outros materiais.

Desta forma, a sala modelada e simulada foi calibrada com a sala real, podendo ser alterada para novas simulações. Os resultados da sala simulada em comparação com a sala real são mostrados no gráfico da Figura 55.

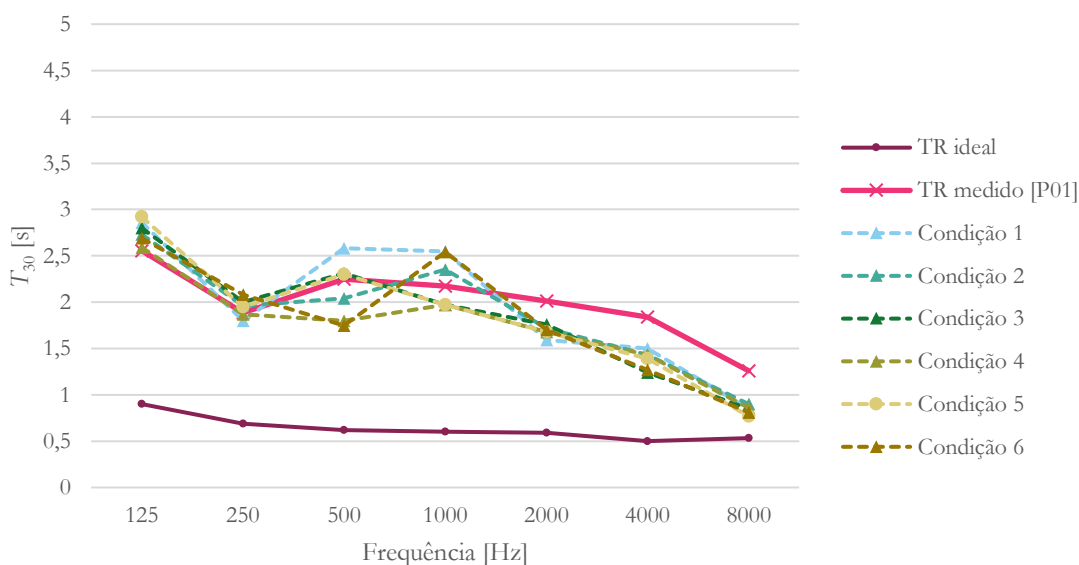
Figura 55 - Gráfico comparativo de T_{30} entre valores medidos e simulados através do RT_target.



A comparação foi realizada considerando o Receptor P₀₁ porque este foi o ponto escolhido para posicionar o receptor e, conseqüentemente, o participante no ambiente em realidade virtual.

A maior diferença entre um valor medido e calibrado foi de 0,05 segundo, considerada irrisória. O forro da sala foi alterado seis vezes para obter-se um melhor resultado, semelhante ao recomendado pela BB93 (DEPARTMENT FOR EDUCATION, 2015). Todas as condições de modificação contemplavam soluções possíveis de aplicar na sala real, seja por mudanças de materiais ou na sala, para obter-se o tempo de reverberação ideal. Os resultados encontrados estão dispostos no gráfico da Figura 56. Nenhuma das condições apresentou valores muito próximos do esperado. A partir de 2000 Hz todas as condições resultaram em valores menores que aqueles medidos, mas ainda não satisfatórios quanto ao ideal. Nas frequências de 500 e 1000 Hz, algumas condições apresentaram valores ainda mais discrepantes quanto ao valor ideal, acima daqueles medidos na sala existente.

Figura 56 - Gráfico comparativo entre condições simuladas para atingir TR ideal.

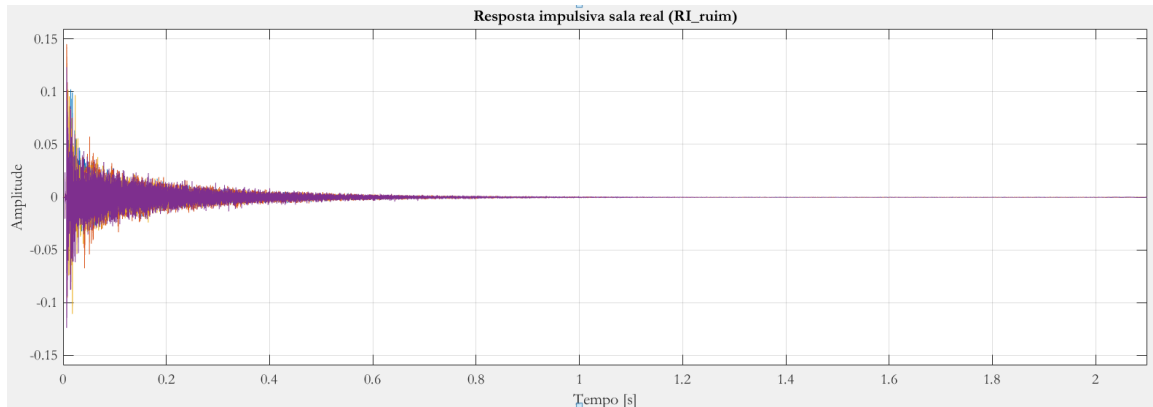


Visto que nenhuma das seis condições atendeu ao tempo de reverberação ideal, percebeu-se que mais materiais absorventes deveriam ser incluídos na sala, não somente no forro. Portanto, escolheu-se utilizar, novamente, o “RT_target” e indicar ao RAVEN quais os valores de tempo de reverberação por frequência deveriam ser atingidos após a alteração dos coeficientes de absorção dos materiais e fim da simulação.

Deste modo, obteve-se duas simulações finais: uma com resposta impulsiva que resultava em tempos de reverberação similares ao da sala real () e uma com resposta impulsiva que trazia bons resultados de tempo de reverberação () conforme indicado por normativa inglesa BB93. Os resultados das duas condições simulam os valores conforme gráfico da Figura 55 (TR medido e TR ideal). Cada uma dessas salas simuladas teve sua resposta impulsiva convoluída com a gravação do

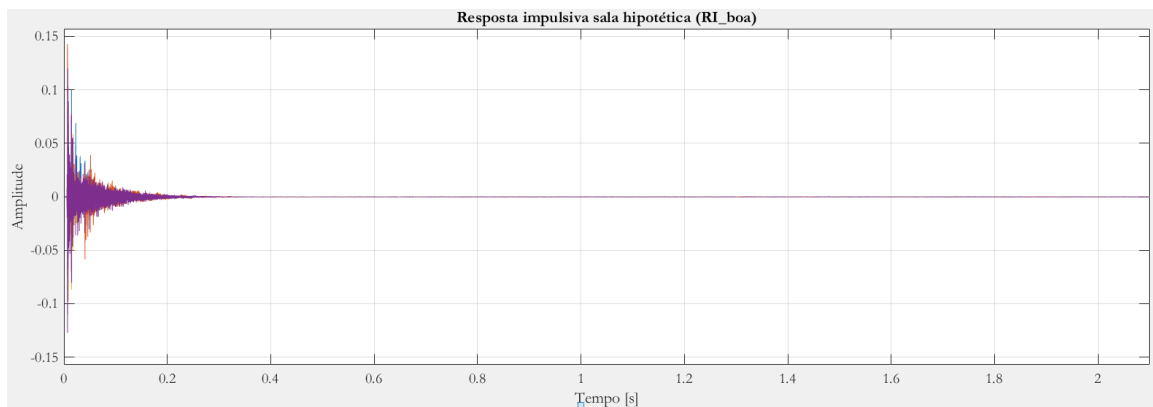
ruído de tráfego após tratamento com filtro de isolamento acústico (filtro de isolamento acústico adequado na Figura 57 e inadequado na Figura 58) e aurilizada em quatro diferentes condições, como já explicitado na metodologia. A Tabela 5 mostra as características resumidas das condições acústicas aurilizadas.

Figura 57 - Gráfico da resposta impulsiva baseada em situação real usada para aurilização da condição IS_ruim.



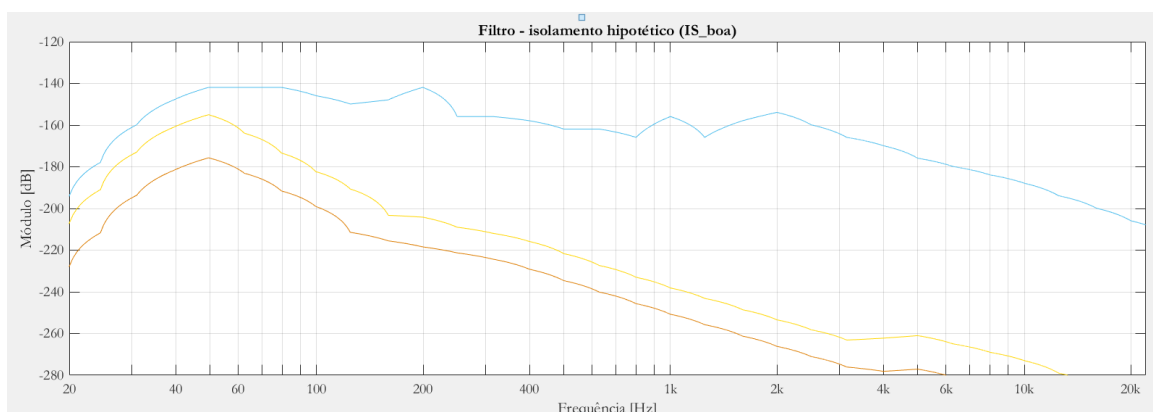
Fonte: Autora (2023).

Figura 58 - Gráfico da resposta impulsiva baseada em situação hipotética usada para aurilização da condição IS_boa.



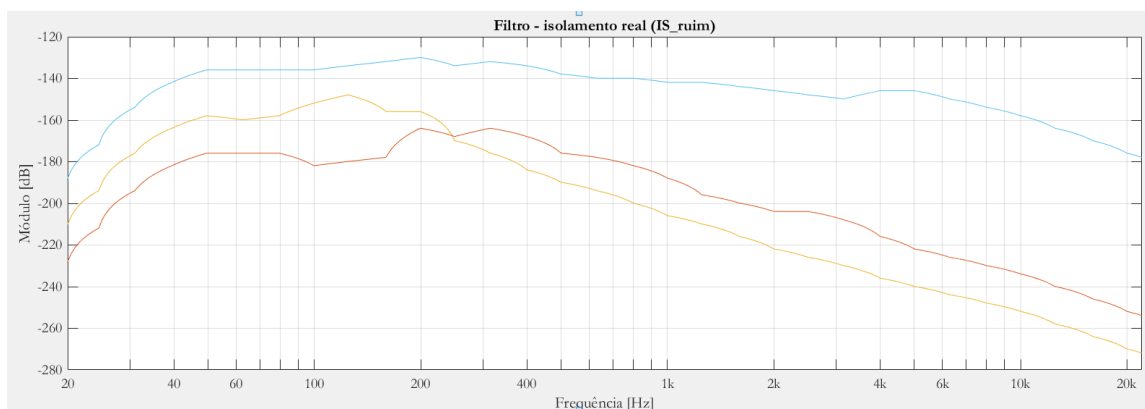
Fonte: Autora (2023).

Figura 59 - Gráfico do filtro de isolamento baseado em situação hipotética usado para aurilização da condição IS_boa.



Fonte: Autora (2023).

Figura 60 - Gráfico do filtro de isolamento baseado em situação real usado para aurilização da condição IS_ruim.



Fonte: Autora (2023).

Tabela 5 - Características das condições acústicas aurilizadas.

Nomenclatura da condição acústica	Resposta impulsiva	Tempo de reverberação em 500 Hz	Filtro de isolamento acústico	L_{Aeq} reproduzido no fone de ouvido
RI_ruim_IS_ruim	Sala real	2,2 s	Sala real	50 dB
RI_boa_IS_ruim	Sala hipotética	0,6 s	Sala real	50 dB
RI_ruim_IS_boa	Sala real	2,2 s	Sala hipotética	35 dB
RI_boa_IS_boa	Sala hipotética	0,6 s	Sala hipotética	35 dB
RI_silêncio	---	---	---	35 dB

Deste modo, quatro arquivos de áudios aurilizados e um arquivo de áudio contendo sinal de ruído rosa foram utilizados nos testes de desempenho cognitivo avaliado através de teste de audição.

3.3 Resultados do teste de desempenho cognitivo com ruído de tráfego (estudo piloto na Alemanha)

O teste seriado de recuperação de memória foi aplicado com 16 participantes⁵ durante doutorado sanduíche realizado no IHTA (RWTH Aachen University). Em função da pandemia de Covid-19, o número de participantes foi limitado a discentes do próprio instituto. O teste foi aplicado com *slides* escritos na língua inglesa, dominada por todos os participantes.

⁵ O Participante 07 foi excluído das análises e a numeração dos participantes foi mantida, portanto os resultados são apresentados do Participante 01 ao 17, excetuando-se o 07.

3.3.1 Caracterização dos participantes

Dos 16 participantes nesta etapa, 11 eram do gênero masculino, totalizando aproximadamente 69% dos participantes, como observado no gráfico da Figura 61. Conforme caracterização apresentada no gráfico da Figura 62, a metade dos participantes possuía entre 26 e 33 anos, tendo apenas dois deles menos que 25 anos. Quanto à escolaridade, a maioria possuía mestrado finalizado, enquanto apenas um participante tinha apenas o nível superior (Figura 63).

Figura 61 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto ao gênero.

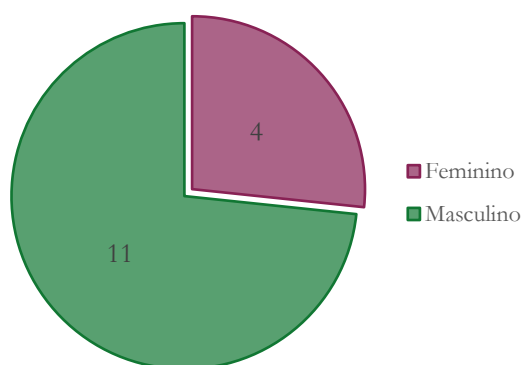


Figura 62 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à idade.

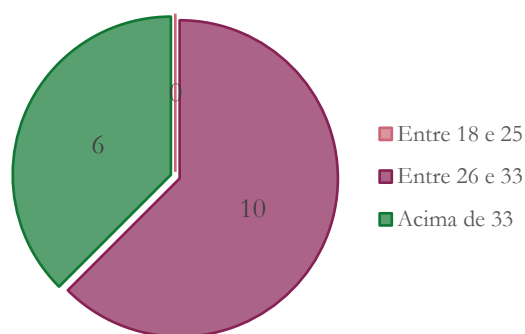
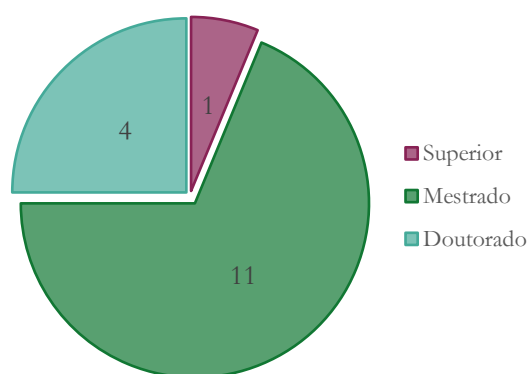


Figura 63 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à escolaridade.

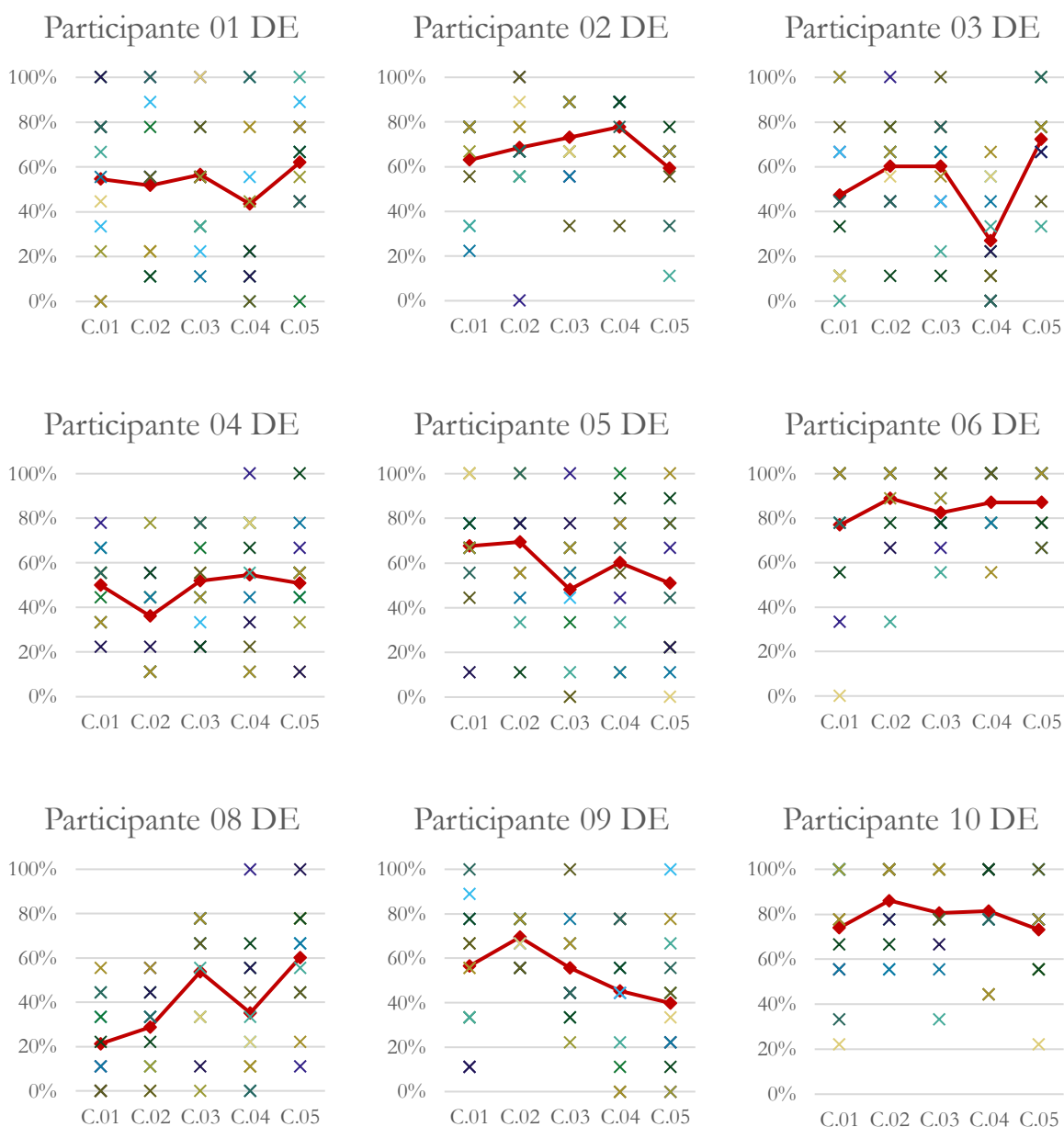


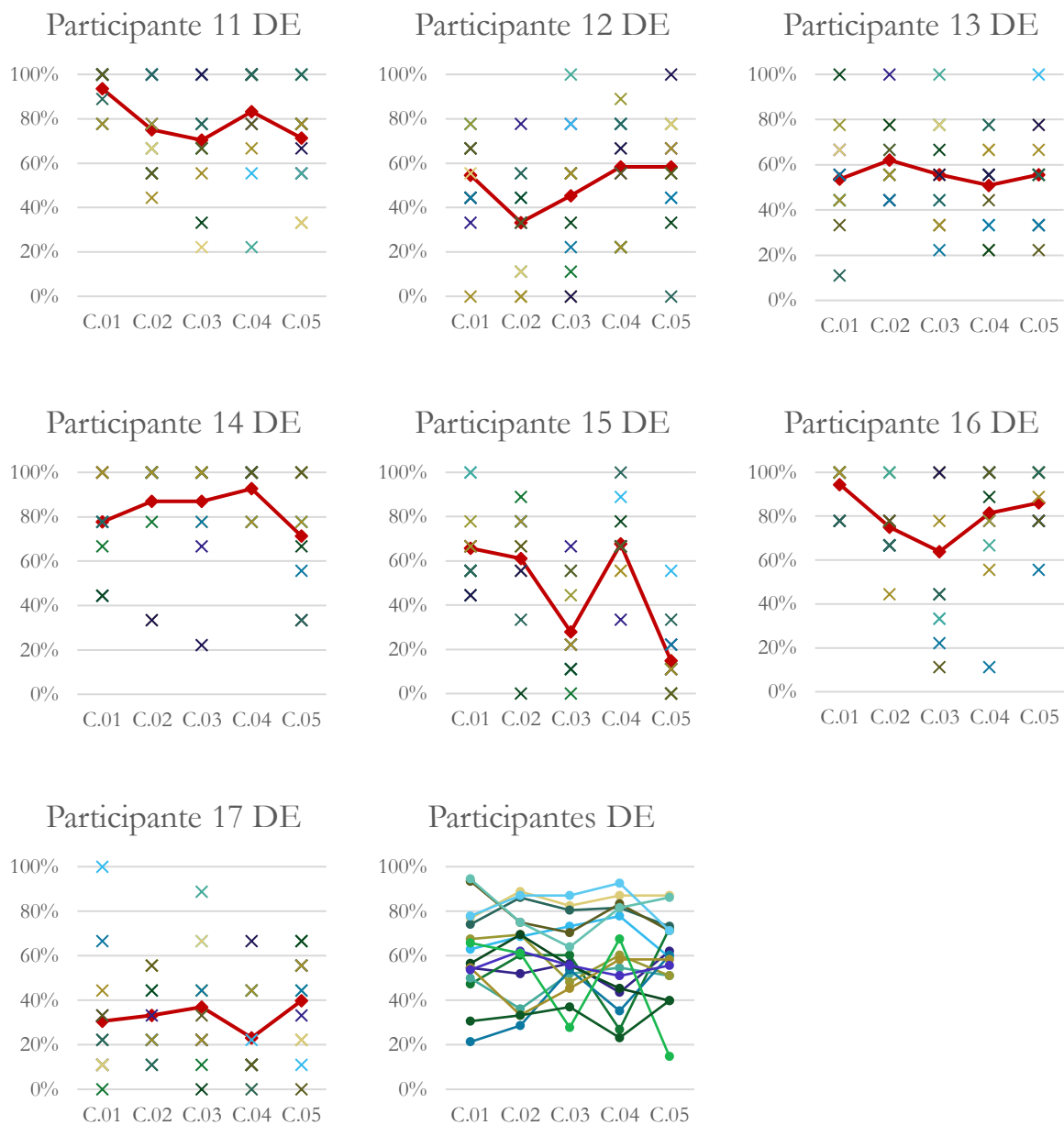
3.3.2 Análise do estudo piloto

Em análise inicial, cada participante foi avaliado individualmente quanto às taxas de acerto, representadas por um “X” a cada repetição, e suas respectivas médias, em linha vermelha, em cada uma das condições acústicas. Em seguida, o desempenho médio de todos os participantes foi compilado em um só gráfico. Os gráficos individuais e geral podem ser vistos na Figura 64. A sigla DE indica que o teste foi realizado na Alemanha, proveniente do nome do país na língua nativa (Deutschland).

É possível observar que não há uma tendência de comportamento das médias entre participantes, principalmente no gráfico geral de todos os participantes (intitulado Participantes DE)). A variabilidade desses dados indica também a diferença no potencial de memorização de cada participante, que varia entre si, mostrando que alguns participantes têm bons ou maus desempenhos em todas as condições acústicas, como os Participantes 06 e 17, respectivamente. Outros casos, como no Participante 08, mostra uma maior influência das condições acústicas no desempenho do participante.

Figura 64 - Gráficos de taxas de acerto e médias (em vermelho) por condição acústica de cada participante na Alemanha.





Os dados de cada participante foram tabelados a partir da média de taxa de acerto em cada condição acústica. A partir disso, o p-valor de cada participante foi calculado através da técnica de Análise de Variância (ANOVA) considerando apenas as condições acústicas cuja fonte sonora é o ruído de tráfego, excetuando-se a condição “RI_silêncio”, visto que esta é uma condição controle. Em seguida, o teste de Tukey foi realizado a fim de avaliar entre quais níveis do fator “condição acústica” havia diferença significativa.

Esses dados estão dispostos na Tabela 6, na qual todos os casos em que o p-valor < 0,05 estão destacados em cinza, indicando que há diferenças significativas nestas respostas. Os valores destacados em amarelo consideram p-valor < 0,10 a nível informativo. Dos 16 participantes da

Alemanha, apenas cinco apresentaram p-valor significativo ao comparar os resultados obtidos em cada uma das condições acústicas com ruído de tráfego.

Tabela 6 - Média e análise de variância por participante da Alemanha.

Participante	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Média C.01	54,6 %	63,0 %	47,2 %	50,0 %	67,6 %	76,9 %	21,3 %	56,5 %	74,1 %	93,5 %	54,6 %	53,7 %	77,8 %	65,7 %	94,4 %	30,6 %
Média C.02	51,9 %	68,5 %	60,2 %	36,1 %	69,4 %	88,9 %	28,7 %	69,4 %	86,1 %	75,0 %	33,3 %	62,0 %	87,0 %	61,1 %	75,0 %	33,3 %
Média C.03	56,5 %	73,1 %	60,2 %	51,9 %	48,1 %	82,4 %	53,7 %	55,6 %	80,6 %	70,4 %	45,4 %	55,6 %	87,0 %	27,8 %	63,9 %	37,0 %
Média C.04	43,5 %	77,8 %	26,9 %	54,6 %	60,2 %	87,0 %	35,2 %	45,4 %	81,5 %	83,3 %	58,3 %	50,9 %	92,6 %	67,6 %	81,5 %	23,1 %
Média C.05	62,0 %	59,3 %	72,2 %	50,9 %	50,9 %	87,0 %	60,2 %	39,8 %	73,1 %	71,3 %	58,3 %	55,6 %	71,3 %	14,8 %	86,1 %	39,8 %
p-valor	0,80	0,37	0,01	0,21	0,27	0,54	0,02	0,13	0,62	0,05	0,10	0,59	0,42	0,04	0,03	0,53
Diferença C.01-C.02	1,00	0,92	0,65	0,45	1,00	0,53	0,89	0,56	0,55	0,15	0,20	0,75	0,72	0,95	0,21	0,99
Diferença C.01-C.03	1,00	0,64	0,65	1,00	0,36	0,92	0,01	1,00	0,89	0,05	0,82	1,00	0,72	0,00	0,02	0,91
Diferença C.01-C.04	0,85	0,33	0,27	0,96	0,92	0,66	0,53	0,68	0,85	0,64	0,99	0,99	0,35	1,00	0,56	0,87
Diferença C.02-C.03	0,99	0,95	1,00	0,34	0,28	0,88	0,08	0,51	0,93	0,95	0,67	0,87	1,00	0,00	0,67	0,98
Diferença C.02-C.04	0,93	0,71	0,02	0,21	0,86	1,00	0,92	0,09	0,96	0,77	0,10	0,55	0,92	0,87	0,91	0,72
Diferença C.03-C.04	0,79	0,95	0,02	0,99	0,74	0,95	0,28	0,73	1,00	0,44	0,62	0,95	0,92	0,00	0,29	0,48

Dentre os cinco participantes cujo p-valor foi significativo, quatro deles apresentaram diferença significativa entre as condições 01 e 03, isto é, “RI_ruim_IS_ruim” e “RI_ruim_IS_boa”, que apresentam diferença somente no isolamento sonoro. O único participante que não apresentou diferença nessas condições, apresentou diferença entre a condição acústica “RI_boa_IS_boa” (condição 04) e as condições “RI_boa_IS_ruim” (condição 02) e “RI_ruim_IS_boa” (condição 03), isto é, entre a condição que apresenta condições acústicas ideais e aquelas que há combinação de resposta impulsiva e isolamento sonoro bons e ruins entre si. Isso se deu pelo resultado do participante na condição “RI_boa_IS_boa” ser muito aquém em comparação a todas as outras.

A diferença entre as condições “RI_boa_IS_boa” e “RI_boa_IS_ruim” é significativa a 10% para apenas um participante. Para somente um dos participantes as condições 02 e 03 (“RI_boa_IS_ruim” e “RI_ruim_IS_boa”, respectivamente) apresentaram diferença significativa entre si. Em nenhum caso, as situações extremas “RI_ruim_IS_ruim” (condição 01) e “RI_boa_IS_boa” (condição 04) apresentaram diferença significativa. Tendo em vista que essa

análise individual por participante no estudo piloto apresentou resultados não significativos e sem forte relação dos resultados entre participantes, a análise estatística por participante não foi repetida no experimento objeto, seja com ruído de tráfego ou de conversa.

Após a análise individual, as médias de cada participante por condição foi avaliada. Visto que a média pode desconsiderar que o mesmo participante possa ter tido um desempenho muito bom na maioria das repetições e muito ruim em poucas, por exemplo, afetando a sua média final, uma análise do coeficiente de variação foi feita tanto para média como para mediana antes de definir a média como estatística para esta comparação. Os valores de média e mediana para cada condição acústica são apresentados na Tabela 7. São apresentados também os respectivos Coeficientes de Variação (C.V.) da média e da mediana.

Tabela 7 - Média e Mediana com seus respectivos Coeficientes de Variação de cada condição acústica no experimento piloto, em valores percentuais.

	C.01	C.02	C.03	C.04	C.05
Média	61,34%	61,63%	59,32%	60,59%	59,55%
Mediana	63,89%	65,63%	61,11%	60,59%	62,85%
Desvio-padrão	23,59%	21,70%	24,75%	23,64%	23,12%
C.V. Média	38,46%	35,20%	41,73%	39,01%	38,83%
C.V. Mediana	36,93%	33,06%	40,50%	39,01%	36,79%

Tanto a média quanto a mediana apresentaram coeficiente de variação acima dos 30%, indicando que ambas têm uma variação heterogênea dos dados. Visto que ambas apresentam valores semelhantes e indicam a mesma resposta, manteve-se a média para avaliação dos dados gerais. O p-valor encontrado por ANOVA entre os níveis “condição acústica” desse grupo foi de 0,92. Por não ser significativo, não foram avaliadas as diferenças entre as condições entre si quando avaliados pelo Teste de Tukey. A tabela com tais dados pode ser vista no Apêndice C.

Com isso, foi gerado um gráfico do tipo *boxplot* para análise das médias dos participantes do experimento piloto. Foram plotados um gráfico contendo as respostas que a taxa de acertos tenha sido zero (Figura 65) e outro desconsiderando esses resultados para esta primeira análise (Figura 66).

Considerando a média de acertos contendo as taxas de acertos nulas, a média de acertos (representada por um “X” nas caixas do *boxplot*) em cada uma das condições acústicas varia pouco, em torno de 60% para todas as condições. Quando retiradas as taxas de acertos nulas, todas as

médias aumentam de valor, mas de modo pouco significativo, como esperado, passando a variar em torno de 62%. As medianas, no entanto, variam de modo mais significativo e serão interpretadas a medida que as condições acústicas forem avaliadas individualmente.

Figura 65 – Gráfico *boxplot* da média de acertos por condição acústica considerando respostas nulas.

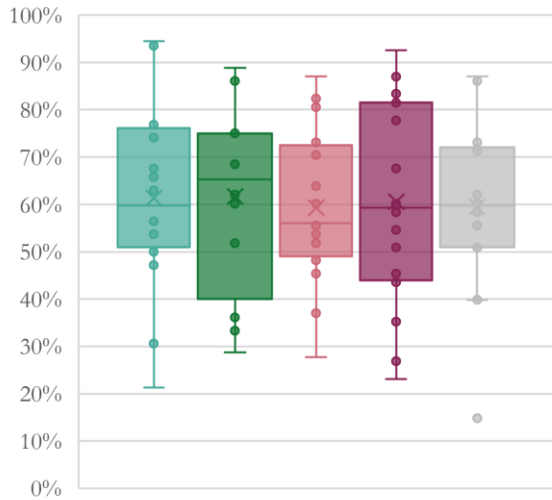
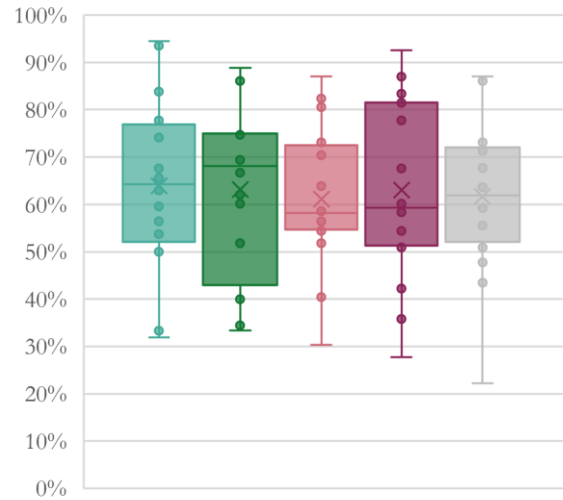


Figura 66 - Gráfico *boxplot* da média de acertos por condição acústica desconsiderando respostas nulas.



■ RI_ruim_IS_ruim ■ RI_boa_IS_ruim ■ RI_ruim_IS_boa ■ RI_boa_IS_boa ■ RI_silêncio

A condição “RI_ruim_IS_ruim”, cuja resposta impulsiva e isolamento sonoro são ambos ruins e simulam a sala real, apresentou a maior variação na média de taxa de acertos entres os participantes, flutuando entre 21 e 94%. A mediana indica que metade dos participantes tiveram média de acertos acima ou abaixo de 60%. Essa condição apresenta tanto o menor quanto o maior desempenho médio em todos os testes de todas as condições. Metade dos participantes, no entanto, acertaram uma média entre 51 e 76% das respostas. Quando retirados os resultados com taxa de acertos nula, houve uma pequena variação, concentrando 50% das médias dos participantes entre 52 e 77%. Esta condição passa a ser a segunda com maior variação e mediana sobe para 64%.

A condição “RI_boa_IS_ruim”, cuja resposta impulsiva representa a sala hipotética com tempo de reverberação adequado e possui um isolamento sonoro insatisfatório como na sala real, apresenta uma maior variação entre a média de acertos dos participantes quando comparados os valores centrais contidos em 50% das respostas. A distância entre o primeiro e segundo quartis é a maior em variação quando comparados aos outros quartis isoladamente em todos os testes. A mediana, quando consideradas as taxas de acertos nulas, é de 65%, subindo para 68% quando os resultados zerados são desconsiderados.

A condição “RI_ruim_IS_boa” apresenta um áudio com resposta impulsiva simulando a sala real com altos tempos de reverberação e um isolamento sonoro satisfatório simulando uma situação hipotética. Essa condição apresentou a menor variação entre médias de taxas de acerto quando considerados os resultados que contém taxas de acertos nulas sem exceções. A mediana de 56% aumenta para 58% quando desconsideradas as taxas de acertos nulas. Nesse caso, a distância do primeiro para o segundo quartil é relativamente curta, apresentando uma variação de 55 a 58% apenas para um quarto dos participantes, indicando grande concentração de resultados entre esses valores.

A condição “RI_boa_IS_boa” representa a situação hipotética de uma sala com boa resposta impulsiva e bom isolamento acústico. Nesta condição, houve uma maior distribuição dos resultados, principalmente entre o primeiro e terceiro quartis em comparação com as outras condições acústicas. Foi a segunda condição com maior variação entre a menor e a maior média de taxas de acertos (amplitude total) quando consideradas as respostas nulas. Quando desconsideradas, essa condição acústica apresenta a maior variação juntamente com a condição em silêncio. Em ambos os casos a mediana, de 60%, permaneceu igual.

Na condição “RI_silêncio”, considerada uma condição controle, apenas ruído rosa era reproduzido nos fones de ouvido a fim de mascarar possíveis sons no laboratório durante o teste. Esta condição apresentou um “*outlier*” quando as taxas de acertos nulas são consideradas. Quando essa exceção é desconsiderada, essa condição apresentou a menor variação entre médias de taxas de acertos. A mediana de 60% sobe para 62% quando as taxas de acertos nulas são desconsideradas. Essa condição apresentou distâncias entre quartis semelhantes em tamanhos quando o “*outlier*” é desconsiderado no primeiro gráfico e uma diferença entre mínimo e primeiro quartil comparativamente grande na situação em que as taxas de acertos nulas são excluídas. Isso indica que o “*outlier*” possuía uma média muito distante dos outros valores e agora aumentou para 22% podendo ser agrupado juntamente com outros valores, mesmo ainda apresentando uma diferença de 20% em relação ao próximo valor.

Por se tratar de uma condição controle, espera-se que na condição “RI_silêncio” o desempenho dos participantes seja como em uma situação em que não há perturbação, portanto, desempenhos semelhantes são considerados satisfatórios, desempenhos inferiores são considerados insatisfatórios e desempenhos superiores são considerados muito satisfatórios. Comparativamente, as condições “RI_ruim_IS_ruim” e “RI_ruim_IS_boa” apresentaram valores entre primeiro e terceiro quartis muito próximos à “RI_silêncio”, podendo indicar uma baixa

interferência dessas condições acústicas. Já a condição “RI_boa_IS_ruim” apresentou o primeiro quartil abaixo da condição controle, indicando que pode haver uma perturbação maior nesta condição por parte dos participantes. A condição “RI_boa_IS_boa” apresentou um valor de primeiro quartil mais baixo que a condição controle, no entanto, o terceiro quartil foi o maior entre todas as condições acústicas, indicando desempenhos mais satisfatórios do que quando em silêncio.

Em seguida, os mesmos dados foram analisados, mas não mais sendo agrupados por médias por participante, sendo consideradas apenas taxa de acerto por bloco de memorização. Considerando que eram 12 blocos por condição acústica, sendo cada um deles composto por uma ordem aleatória de nove dígitos, cada participante podia ter as taxas de acertos para cada um dos 12 blocos conforme mostrado na Tabela 8. Foram analisadas, portanto, 192 respostas ao considerar também as taxas de acertos nulas.

Tabela 8 - Relação entre quantidade de acertos e taxa de acerto no teste de desempenho cognitivo, em percentual.

Quantidade de acertos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Taxa de acerto (em %)	0	11,11	22,22	33,33	44,44	55,56	66,67	77,78	88,89	100

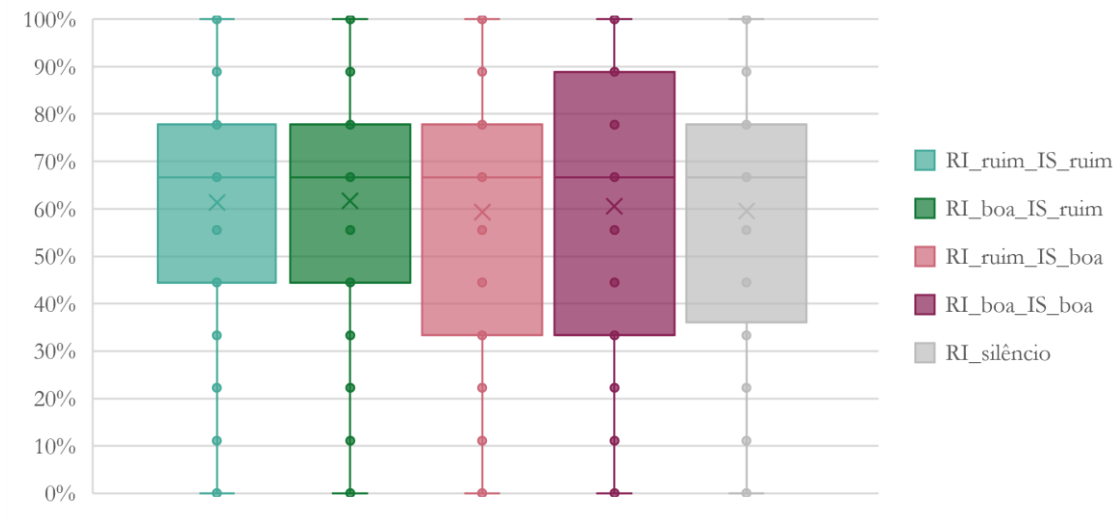
Da mesma forma que na análise das médias de taxas de acertos, um gráfico do tipo *boxplot* (Figura 67) foi gerado considerando as taxas de acertos nulas, visto que podem ser consideradas um resultado à perturbação causada pelo som reproduzido durante o teste em cada bloco de memorização.

É importante perceber que no gráfico mostrado na Figura 67, os primeiros e segundos quartis são exatamente iguais nas condições de igual isolamento acústico. Quando consideradas as condições “RI_ruim_IS_ruim” e “RI_boa_IS_ruim”, ou seja, as duas condições que apresentam isolamento sonoro inadequado, há uma mesma configuração no gráfico, resultando em uma mediana de 61% e mesma distribuição de taxas de acertos. Quando consideradas as condições com bom isolamento acústico, o terceiro quartil varia entre elas, havendo uma maior variabilidade de concentração de taxas de acertos na condição “RI_boa_IS_boa”. Vale ressaltar que a mediana se mantém a mesma em todas as condições acústicas, incluindo a condição controle “RI_silêncio”, que apresenta valores semelhantes à condição “RI_ruim_IS_boa”.

Como todas as condições apresentaram os mesmos valores de mínimos e máximos quando consideradas as taxas de acertos, o intervalo interquartilico pode fornecer valores mais expressivos estatisticamente, representados pela caixa do *boxplot*, que foi maior na condição “RI_boa_IS_boa”.

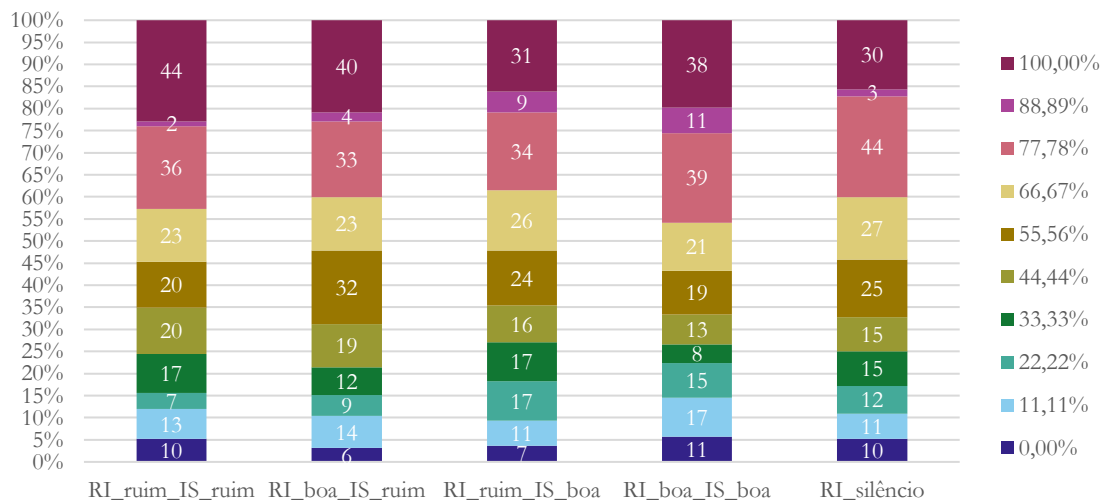
Isso indica que nesta condição acústica há uma maior variação entre taxas de acertos, sendo essa a apresentar também o maior valor do terceiro quartil nas duas análises.

Figura 67 - Gráfico *boxplot* de acertos por condição acústica considerando taxas de acerto nulas.



A fim de entender melhor o comportamento das taxas de acerto em cada uma das condições acústicas, o gráfico da Figura 68 representa a quantidade de vezes que cada taxa de acerto ocorreu em cada uma das condições acústicas.

Figura 68 - Gráfico de quantidade de repetições por taxa de acerto em cada condição acústica.



A condição que mais apresentou taxa de acertos igual a 100% foi “RI_ruim_IS_ruim”, enquanto a condição “RI_boa_IS_boa” apresentou resultados iguais a 0% mais vezes. Esse resultado contraria o que é esperado de acordo com a literatura, porém deve-se considerar que o teste foi realizado somente com 16 participantes. É importante perceber que as taxas de acerto com mais repetições em todas as condições acústicas foram as de 100%, 77,78% e 66,67%, à exceção

da condição acústica “RI_boa_IS_ruim”, em que a taxa de acerto de 55,56% superou a taxa de 66,67% em quantidade de vezes.

Considerando que o participante tinha tempo limitado para clicar nos botões em cada bloco de memorização, a quantidade de repetições por taxa de acerto foi agrupada, exceto a taxa de acertos nula, observando-se três situações: a) o participante que acertava 7 ou 8 números tinha muita chance de acertar os 9 números e havia apenas se confundido na ordem de dois desses números, o que totalizava 7 acertos, ou não tinha tido tempo de apertar todos os botões, totalizando 8 acertos; b) o participante que acertava 4, 5 ou 6 números teve uma boa memorização no começo e apertou os próximos números em ordem aleatória ou escolhia esperar o término do tempo e iniciar um novo bloco de memorização; e c) o participante que acertava 1, 2 ou 3 números muitas vezes o fazia de maneira aleatória por decidir apertar todos os números no tempo destinado a isso. Esses exemplos são mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 - Exemplos de situações observadas quanto às taxas de acertos.

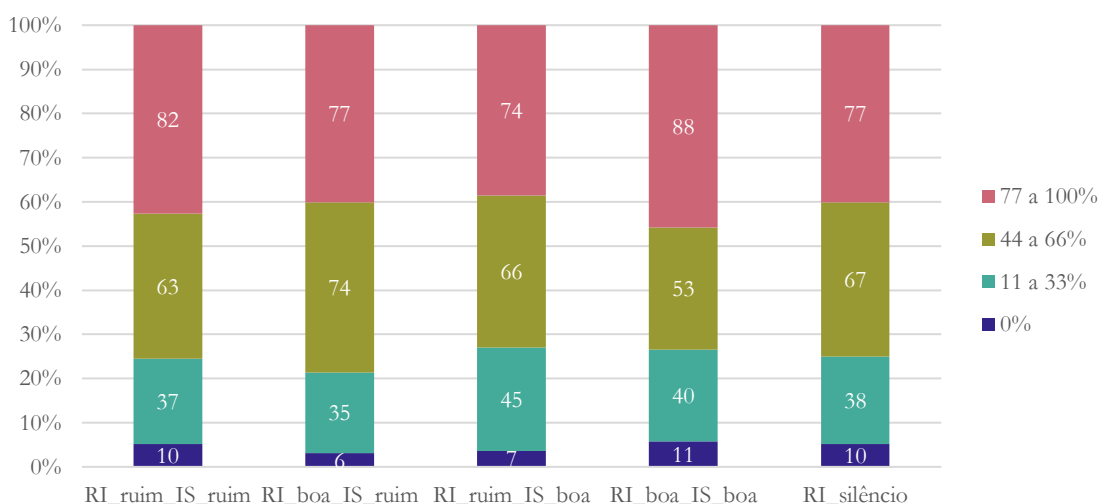
Situação a – 7 a 9 acertos (77,78 a 100%)									
Número mostrado	3	8	9	2	6	5	7	1	4
Número clicado	3	8	9	2	6	7	5	1	4
Acerto ou erro	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓
Situação b – 4 a 6 acertos (44,44 a 66,67%)									
Número mostrado	2	6	3	7	4	5	1	9	8
Número clicado	2	6	3	7	4	1	5	8	9
Acerto ou erro	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
Situação c – 1 a 3 acertos (11,11 a 33,33%)									
Número mostrado	3	5	7	8	6	1	2	9	4
Número clicado	9	4	7	1	6	2	3	5	*
Acerto ou erro	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	*

Baseado nessas observações, o gráfico da Figura 68 foi refeito considerando os grupos de taxas de acerto, apresentado na Figura 69. Com isso, observa-se que a condição “RI_boa_IS_boa” apresenta maior quantidade de acertos no primeiro grupo (77 a 100%), seguida pela condição “RI_ruim_IS_ruim”. As condições “RI_boa_IS_ruim” e “RI_silêncio” apresentaram mesma quantidade de repetições nesse grupo e a condição “RI_ruim_IS_boa” apresentou menor quantidade de repetições nesse grupo de taxas de acerto. O grupo de acertos entre 11 a 33% considera a aleatoriedade desses acertos, portanto excluindo esse grupo e as taxas de acertos nulas,

vê-se que a condição “RI_boa_IS_ruim” foi a que apresentou mais repetições de acertos acima de 44%, considerados intencionais em geral, seguida da condição “RI_ruim_IS_ruim”. Enquanto isso, as condições com isolamento sonoro bom apresentam maior quantidade de repetições no grupo que considera a maior probabilidade de acertos aleatórios e não intencionais.

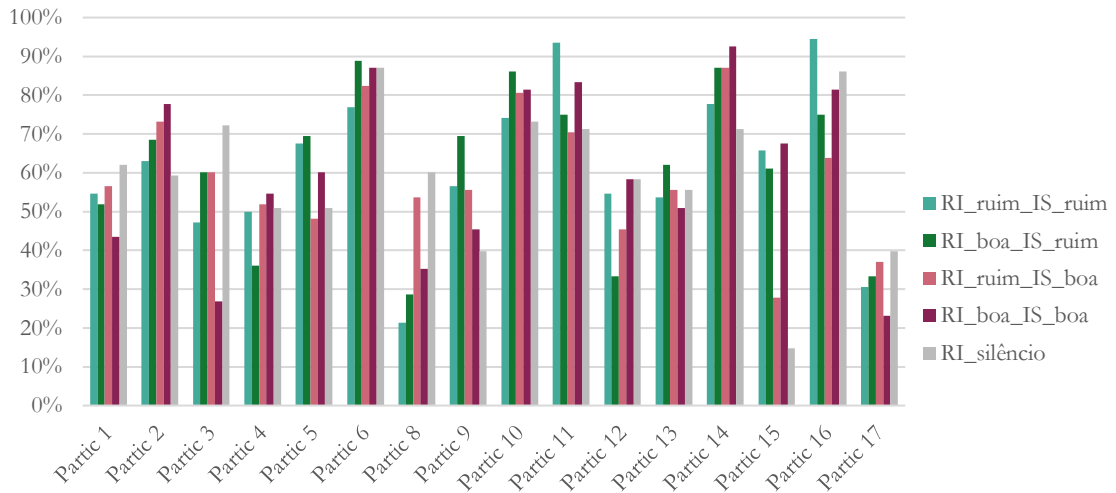
A fim de analisar como se deu o desempenho de cada participante, dois gráficos foram gerados. O primeiro deles (Figura 70) mostra a média de cada participante agrupado de acordo com as condições acústicas. Os participantes foram nomeados pela ordem de realização do teste e o Participante 7 foi desconsiderado da análise, portanto este número não aparece na nomenclatura dos participantes e a contagem vai até o Participante 17.

Figura 69 - Gráfico de quantidade de repetições por grupo de taxa de acerto em cada condição acústica.



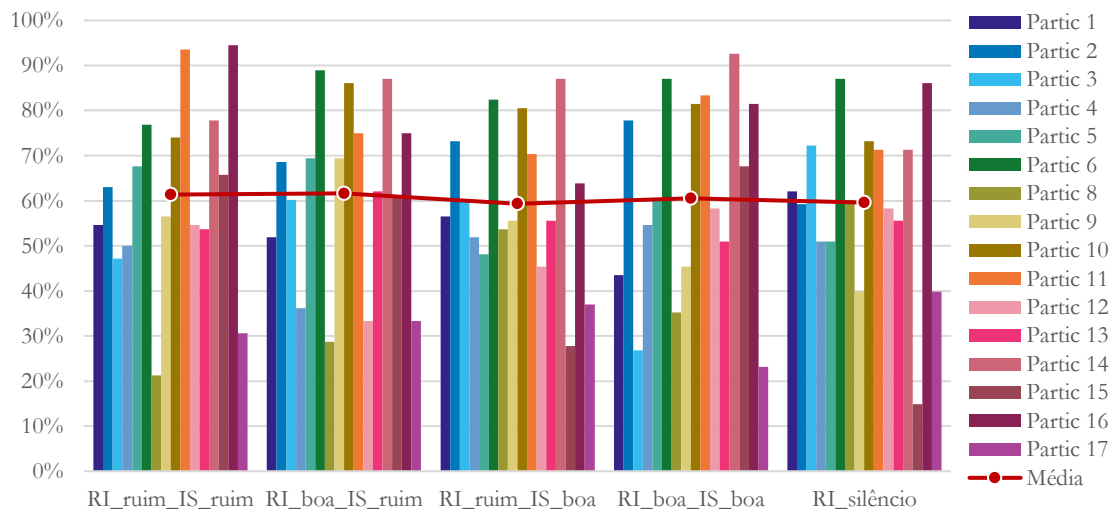
É possível perceber que alguns participantes apresentaram respostas bem similares em todas as condições, como os Participantes 6 e 17, tendo o primeiro um bom desempenho em todas as condições acústicas e o segundo, um mau desempenho. Os Participantes 1 e 3, por exemplo, tiveram o pior desempenho na condição acústica “RI_boa_IS_boa”, enquanto os Participantes 2 e 14 apresentaram seu melhor desempenho. Não é possível observar uma tendência de comportamento das taxas de acertos de acordo com as condições acústicas por cada participante.

Figura 70 - Gráfico de média de acertos por participante em cada condição acústica.



O gráfico da Figura 71 mostra os mesmos dados, mas agrupados por condição acústica. Da mesma forma, é possível perceber uma grande variação na taxa de acerto em cada uma delas sem uma tendência de comportamento específico. A condição “RI_ruim_IS_ruim” apresenta a maior variação entre taxas de acerto, sendo de 73,15%. A condição “RI_ruim_IS_boa” apresenta a menor taxa de variação, de 59,26%, quando o “outlier” da condição “RI_silêncio” é descartado, visto que quando este é considerado a diferença muda de 72,22% para 47,22%.

Figura 71 - Gráfico de média de acertos por condição acústica por cada participante.



A priori, este estudo mostra que não há uma alteração no desempenho cognitivo dos participantes de modo típico indicando influência do ruído de tráfego nas condições acústicas simuladas e auralizadas. Uma hipótese para esses resultados, além da baixa amostragem, é que o ruído de tráfego da gravação, embora intermitente, pode provocar familiaridade ao participante, visto que é reproduzido ciclicamente, já que possui duração pouco superior a 1 minuto e o teste

dura em média 40 minutos. Outra hipótese é que a diferença entre os níveis de pressão sonora equivalentes usados nas condições boa e ruim de isolamento sonoro não seja suficiente para influenciar no desempenho cognitivo de modo significativo. Por fim, tem-se também a hipótese de que o teste longo causa fadiga nos participantes, causando variação no desempenho cognitivo também por razões de fadiga e não só influência das condições acústicas. Fatores relacionados à fadiga foram avaliados e serão apresentados para ambos os grupos de participantes na Seção 3.5.

Para comparar os dados quantitativos com a percepção do usuário, questionários foram aplicados logo após o teste de cada condição acústica. Os resultados de cada questão serão apresentados para cada condição acústica.

A primeira questão perguntava se a sala soava barulhenta para o participante, tendo os resultados compilados no gráfico da Figura 72. A única condição que apresentou o resultado “extremamente” foi a “RI_ruim_IS_ruim” com um voto, tendo predominância do resultado “muito” nesta condição. A condição “RI_boa_IS_ruim”, mesmo reproduzindo áudio com o mesmo filtro de isolamento acústico e em mesmo nível sonoro, teve como maioria o resultado “moderadamente”, seguido por “pouco”, o que indica uma sensação subjetiva de menos intensidade quando o tempo de reverberação da sala é satisfatório. As outras três condições tiveram predominância do resultado “muito pouco”, indicando que estas condições não soavam barulhentas para os participantes. Vale ressaltar que a condição “RI_boa_IS_boa” recebeu votos apenas nas opções “muito pouco” e “pouco”, indicando que o tempo de reverberação adequado contribuiu para uma menor sensação de intensidade do ruído naquela sala.

A segunda questão perguntava quão reverberante a sala soava para o participante e seus resultados são mostrados no gráfico da Figura 73. Alguns participantes relataram que essa questão, bem como a terceira, que pergunta sobre a percepção da duração do tempo de reverberação, foram as mais difíceis de categorizar, visto que o ruído era contínuo e o parâmetro do tempo de reverberação é mais facilmente avaliado com ruídos impulsivos ou, pelo menos, um tempo de silêncio após a reprodução do áudio. Vale ressaltar que no experimento realizado na Alemanha, todos os participantes tinham domínio do tema acústica.

Nessa questão, novamente a resposta “extremamente” foi votada somente na condição “RI_ruim_IS_ruim”. As duas condições com isolamento acústico ruim tiveram predominância das respostas “muito” e “moderadamente”. A condição “RI_ruim_IS_boa” apresentou apenas as respostas “pouco”, “muito pouco” e “moderadamente”, da mais para a menos votada. Já as condições “RI_boa_IS_boa” e “RI_silêncio” tiveram predominância da resposta “muito pouco”,

o que condiz com os parâmetros usados para a simulação da resposta impulsiva da sala nessas condições.

Figura 72 - Gráfico das respostas à “Questão 01 - Esta sala de aula soa barulhenta para você?”

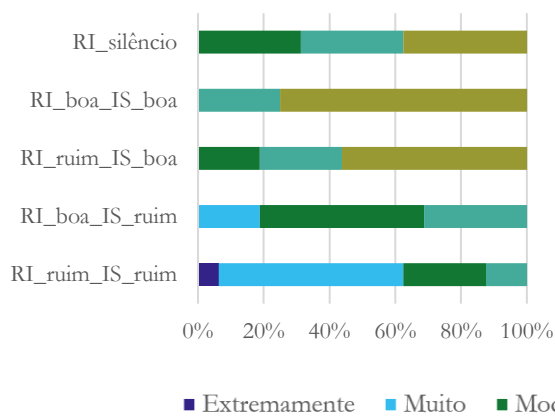
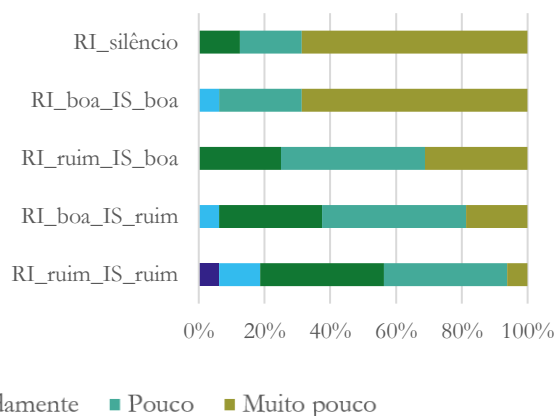


Figura 73 - Gráfico das respostas à "Questão 02 - Quão reverberante é essa sala de aula para você?"



Na questão 03, cujos resultados estão dispostos no gráfico da Figura 74, perguntava-se sobre a duração do tempo de reverberação, como supracitado. A condição “RI_ruim_IS_ruim” foi novamente a única a ter um voto “extremamente” e apresentou “moderadamente” como maioria de votos. A condição “RI_boa_IS_ruim”, que apresenta um melhor tempo de reverberação em comparação com a anterior, teve a categoria “pouco” com maioria de votos, seguida por “muito pouco”. A condição “RI_ruim_IS_boa”, que apresenta um tempo de reverberação baixo, teve maioria das respostas como “muito pouco”, seguida por “pouco” e “moderadamente”. As outras duas condições tiveram predominância de “muito pouco”, seguidas por pouco”. Embora os participantes tenham relatado dificuldade para responder esta questão, as respostas possuem relação com o esperado segundo a literatura. Apenas a condição “RI_ruim_IS_boa” teve um resultado incoerente com o tempo de reverberação alto dessa condição, porém isso pode ser explicado pelo áudio ser de menor intensidade, visto que esta condição apresenta o filtro de isolamento acústico bom.

A questão 04 tinha por intenção avaliar quão claro, isto é, limpo e pouco embaralhado, o ruído de fundo (residual) soava para o participante e os resultados são mostrados na Figura 75. Nas condições acústicas com resposta impulsiva ruim a maioria dos participantes considerou o som moderadamente claro. Quando o isolamento era ruim, na condição “RI_ruim_IS_ruim”, os participantes consideraram o som também “muito” e “extremamente” claro. Quando o isolamento era bom, na condição “RI_ruim_IS_boa”, os participantes também consideraram o som “pouco”, “muito” e “muito pouco” claro, nesta ordem. Na condição “RI_boa_IS_ruim”, a maioria

considerou o som “muito” claro, seguidos por “moderadamente” e “pouco”. A condição “RI_boa_IS_boa” apresentou resultados apenas nas categorias “pouco”, “moderadamente” e “muito pouco”, nesta ordem. A condição “RI_silêncio” apresentou resultados em todas as categorias, distribuídos quase por igual.

Figura 74 - Gráfico das respostas à "Questão 03 – Como você percebe a duração do tempo de reverberação nessa sala de aula?"

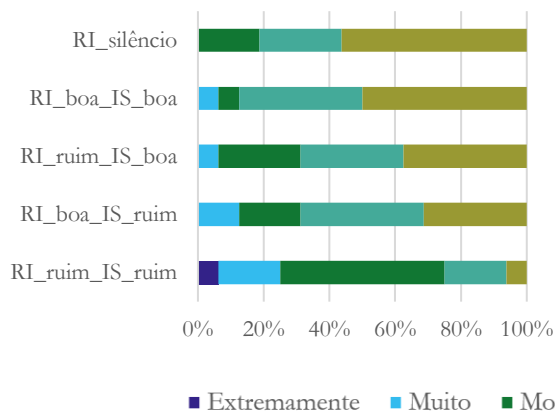
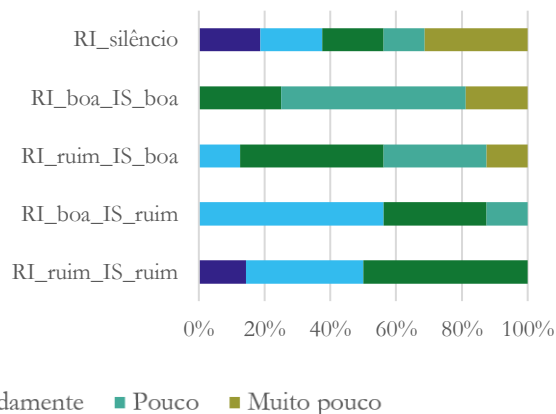


Figura 75 - Gráfico das respostas à "Questão 04 – Quanto claro o ruído de fundo soa para você?"



Há uma hipótese que esta pergunta não foi bem entendida para todos os participantes, visto que nas condições com isolamento acústico ruim os participantes consideraram o som mais claro que nas condições com isolamento acústico bom. Além disso, as condições que apresentavam resposta impulsiva boa, cujo som deveria soar mais claro, não tiveram respostas coerentes com tal condição. Em inglês, a pergunta mostrada foi “How clear does the background noise sound for you?”, o que pode ter confundido os participantes fazendo-os pensar que a pergunta se referia ao fato de escutarem bem ou não o ruído de fundo ao invés de uma pergunta relacionada aos parâmetros definição e clareza, como intencionado.

A questão 05 perguntava quão irritado o participante se sentiu ao ser exposto àquela condição acústica e seus resultados são mostrados no gráfico da Figura 76. Na condição “RI_ruim_IS_ruim”, a maioria dos participantes se sentiu “muito” ou “moderadamente” irritado, havendo 2 votos para cada uma das categorias “pouco” e “extremamente”. A condição “RI_boa_IS_ruim”, cujo isolamento sonoro também era insatisfatório e por isso o nível sonoro mais elevado, a maioria dos participantes respondeu “pouco”, o que indica que a resposta impulsiva adequada pode ter provocado uma influência no fator irritação. Quatro participantes responderam “muito” e outros quatro responderam “moderadamente” para esta categoria, que apresentou um voto para “muito pouco”. Nas condições de isolamento sonoro bom, a maioria se sentiu “pouco” irritado na condição “RI_ruim_IS_boa”, seguidos por “muito pouco”, havendo ainda votos para

“moderadamente” e “muito”. Na condição “RI_boa_IS_boa”, houve votos apenas para “muito pouco” e “pouco”, sendo o primeiro, maioria. A condição “RI_silêncio” apresentou maioria dos votos para a categoria “muito”, o que indica que os participantes se irritaram com a presença constante do ruído rosa reproduzido nos fones de ouvido.

A sexta questão perguntava sobre a concentração necessária para finalizar os testes em cada condição acústica, tendo resultados expostos no gráfico da Figura 77. Em todas as condições a maioria das respostas foi “muito”. As outras respostas variaram entre “moderadamente” e “extremamente” nas condições com isolamento sonoro ruim e na condição “RI_ruim_IS_boa”, esta última apresentando uma quantidade maior de “moderadamente” em comparação com as anteriores. As condições “RI_boa_IS_boa” e “RI_silêncio” apresentaram também votos na opção “pouco”, indicando um menor nível de concentração nessas condições para os participantes.

A questão 07 perguntava sobre quão difícil foi realizar o teste naquela condição acústica. Novamente, todas as condições acústicas apresentaram maioria dos votos para a opção “muito”. A condição “RI_ruim_IS_ruim” apresentou votos em apenas outras duas categorias: “extremamente” e “moderadamente”. As condições “RI_boa_IS_ruim” e “RI_ruim_IS_boa” apresentaram também votos para a opção “pouco”, dado por apenas um participante em cada uma delas. Esta última teve quantidade igual de votos para as opções “muito” e “moderadamente”. A condição “RI_boa_IS_boa” foi a única que apresentou um voto na opção “muito pouco”, mesmo tendo maioria para “muito”, seguida por “moderadamente” e dois votos para cada uma das outras duas categorias. A condição “RI_silêncio” também apresentou votos nas categorias “moderadamente”, “pouco” e “extremamente”.

Figura 76 - Gráfico das respostas à "Questão 05 – Quão irritado(a) você se sentiu nessa sala de aula?"

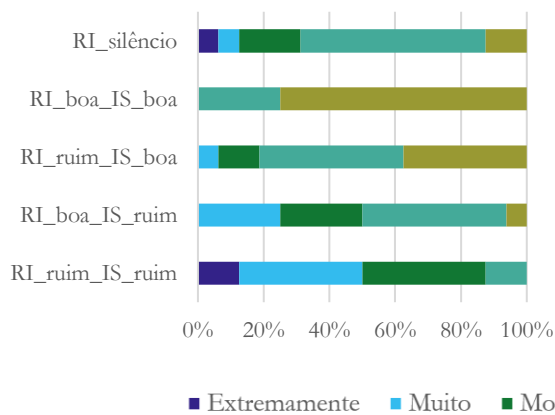
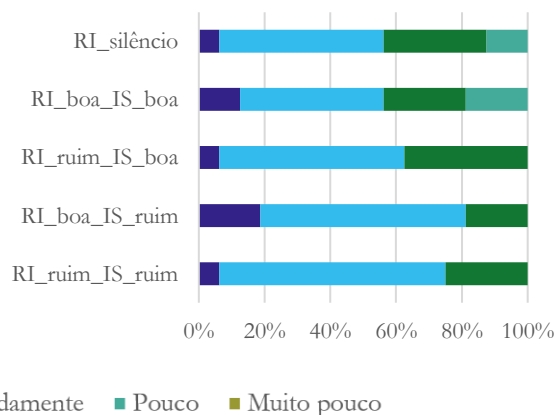


Figura 77 - Gráfico das respostas à "Questão 06 – Quão concentrado(a) você precisou ficar para finalizar o teste nessa sala de aula?"



A oitava questão intencionava saber quão perturbador o participante considerava o ruído de fundo naquela condição acústica e os seus resultados foram compilados no gráfico da Figura 79. A condição “RI_ruim_IS_ruim” apresentou como maioria dos resultados a categoria “moderadamente”, seguida por “muito” e “pouco”, ambas com quatro votos. Nesta condição, um participante votou “extremamente”, enquanto outro votou “muito pouco”, o que indica que o nível de perturbação desse tipo de som pode variar consideravelmente de pessoa para pessoa.

A condição “RI_boa_IS_ruim” teve metade dos resultados classificados na categoria “pouco”, tendo pelo menos um voto para cada uma das outras categorias. A condição “RI_silêncio” também apresentou votos em todas as categorias, tendo uma predominância de votos em “pouco”. Já as condições com bom isolamento acústico não apresentaram votos para a categoria “extremamente”. A maioria dos participantes considerou a condição “RI_ruim_IS_boa” “pouco” perturbadora, sendo considerada também “muito pouco” perturbadora por grande parte dos participantes. Alguns consideraram essa condição acústica “moderadamente” ou “muito” perturbadora. Na condição “RI_boa_IS_boa”, a maioria dos participantes considerou que a sala era “muito pouco” perturbadora, enquanto o restante a consideraram “pouco” perturbadora, indicando que uma condição acústica ideal da sala interfere na percepção de quão perturbador o som pode ser.

A última pergunta tinha por intenção saber quanto esforço os participantes consideraram fazer para realizar a tarefa naquela condição acústica e seus resultados são mostrados no gráfico da Figura 80. Novamente, assim como nas perguntas sobre concentração e dificuldade, a maioria dos participantes considerou que fez “muito” esforço em todas as condições acústicas. As condições com isolamento ruim apresentaram outros votos nas categorias “moderadamente” e “extremamente”. A condição “RI_ruim_IS_boa”, além dessas categorias, apresentou também voto na categoria “pouco”. A condição “RI_boa_IS_boa” foi a única que apresentou voto em todas as categorias com maioria para a resposta “muito”, seguida por “moderadamente”. Apenas um participante relatou resposta em cada uma das outras opções. Na condição “RI_silêncio” os votos se dividiram entre “muito” e “moderadamente”. Esses resultados mostram que, independentemente da condição acústica, a tarefa realizada exige grande esforço do participante.

Figura 78 - Gráfico das respostas à "Questão 07 – Quão difícil foi o teste nessa sala de aula?"

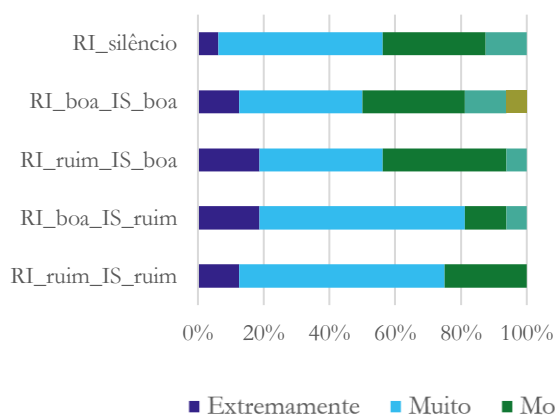
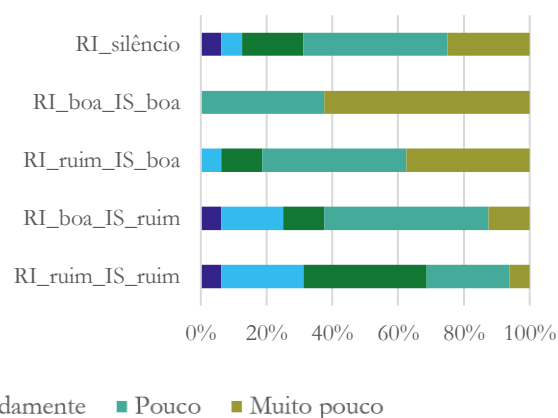
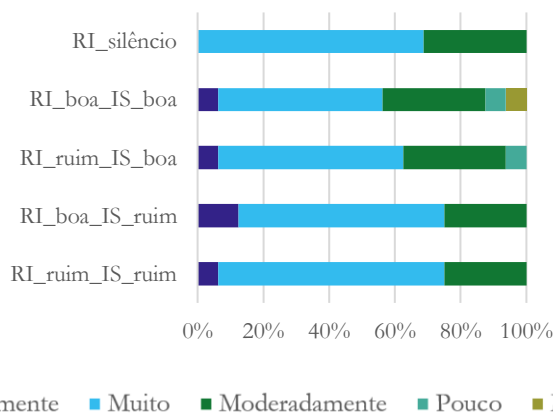


Figura 79 - Gráfico das respostas à "Questão 08 – Quão perturbador foi o ruído de fundo nessa sala de aula para você?"



Os resultados desses questionários, principalmente em relação às perguntas mais subjetivas, que intencionavam quantificar o esforço e concentração dos participantes, bem como o grau de dificuldade da tarefa, mostraram que, em geral, o isolamento acústico teve maior influência em respostas que mostravam maior dificuldade, esforço e necessidade de concentração. Nas salas com bom isolamento acústico, a tendência foram respostas que mostravam menor esforço por parte do participante na execução da tarefa.

Figura 80 - Gráfico das respostas à "Questão 09 – Quanto esforço você precisou fazer para realizar a tarefa nessa condição?"



O isolamento acústico influenciou também o grau de perturbação do participante na sala, mas tanto as condições “RI_ruim_IS_boa” e “RI_silêncio” também foram consideradas, pelo menos, moderadamente perturbadoras para alguns. Isso pode indicar que a reverberação excessiva da sala, mesmo em se tratando de um ruído externo, também influencia a percepção do usuário no quesito perturbação, bem como o ruído rosa usado na condição “RI_silêncio”, que não soa agradável para alguns participantes.

É possível inferir que, em alguns casos, a resposta impulsiva parece dar a sensação de menor volume ou, pelo menos, mais “harmonia” ao som, visto que alguns participantes consideram a condição com resposta impulsiva ruim diferentemente da condição com resposta impulsiva boa, quando compara-se situação em que ambas apresentam o mesmo tipo de isolamento acústico.

Os participantes consideraram a tarefa difícil no geral e relatavam verbalmente, após o teste, que a duração do teste é alta e causa certa fadiga. São levadas em consideração essas informações para os próximos testes que não sejam comparativos com este.

3.4 Resultados dos testes de desempenho cognitivo com ruído de tráfego (experimento objeto no Brasil)

O mesmo teste foi aplicado com participantes no Brasil, desta vez com as instruções em português e usando equipamentos semelhantes, conforme descrito na seção 2.2.5.

3.4.1 Caracterização dos participantes

O teste foi aplicado com 17 participantes. Destes, mais de 70% eram do gênero masculino (Figura 81). Quanto à idade, a maioria dos participantes tinha mais de 33 anos, como pode ser visto no gráfico da Figura 82.

Figura 81 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto ao gênero.

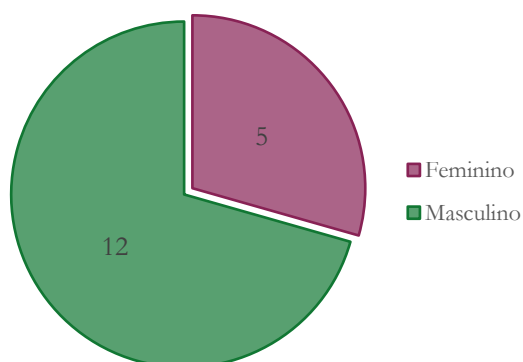
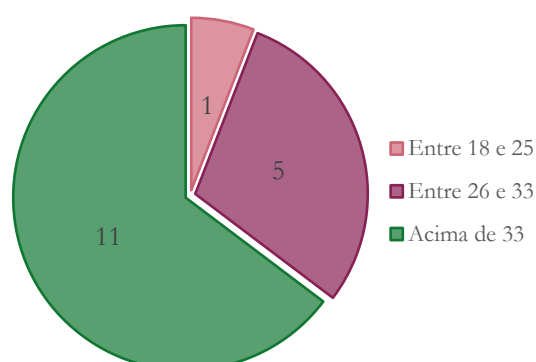


Figura 82 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à idade.



Conforme gráfico da Figura 83, mais da metade dos participantes possuía superior completo e aproximadamente 35% dos participantes apresentava algum nível de pós-graduação concluído. No gráfico da Figura 84 percebe-se que cerca de 75% dos participantes já realizaram audiometria alguma vez na vida. Todos alegaram não ter sido diagnosticados ou perceber perda auditiva. Apenas o Participante 12 disse ter uma perda auditiva baixa no ouvido direito, perceptível

apenas quando usa somente o ouvido direito em comparação com o esquerdo. Como o áudio do teste tem predominância no lado esquerdo, o participante não foi excluído da amostra.

Figura 83 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à escolaridade.

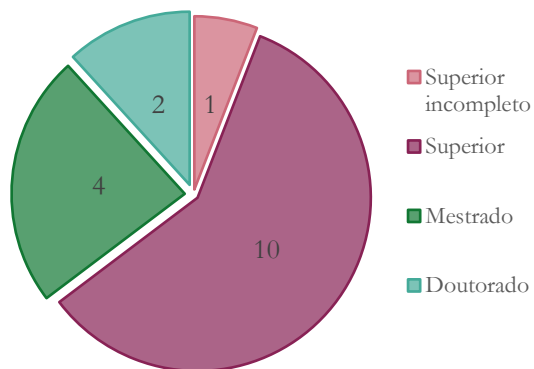
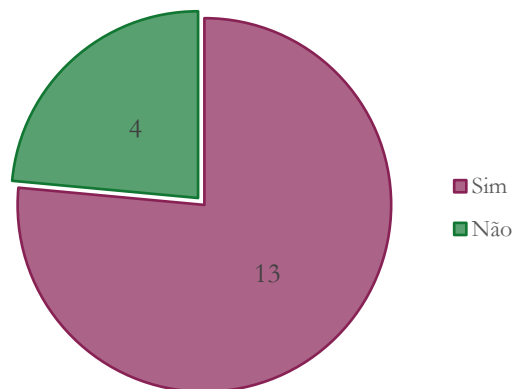


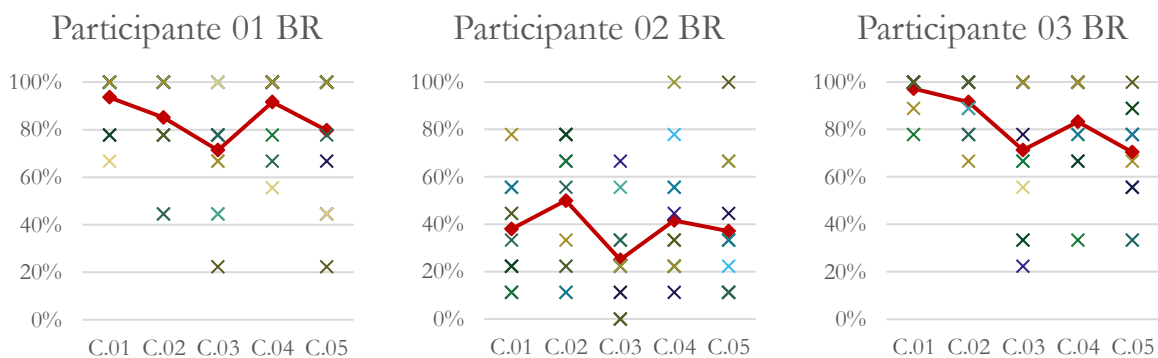
Figura 84 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à realização de audiometria.

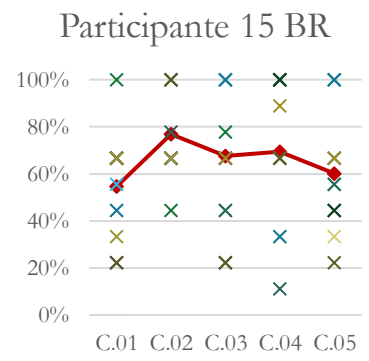
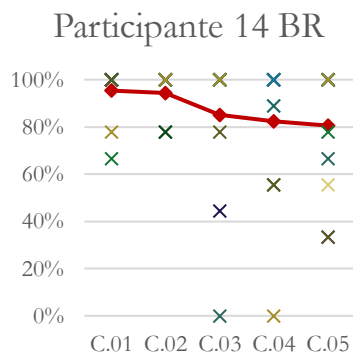
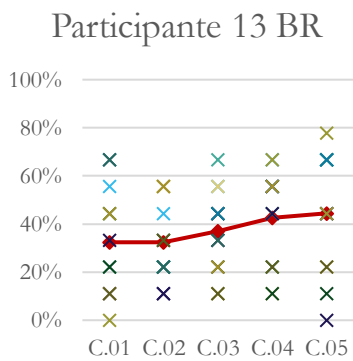
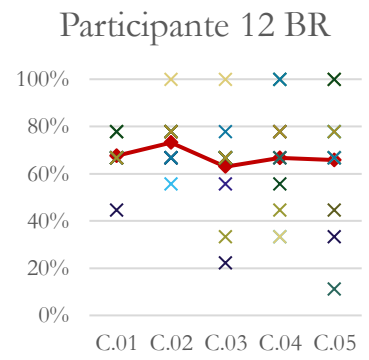
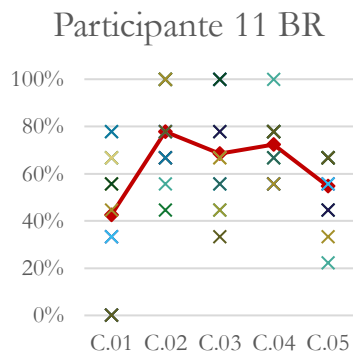
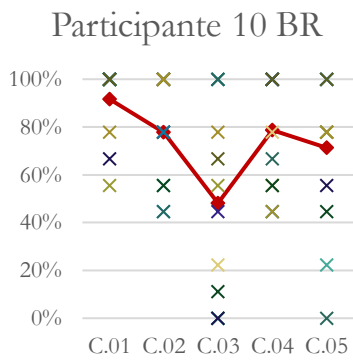
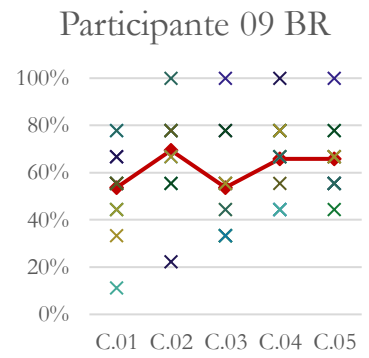
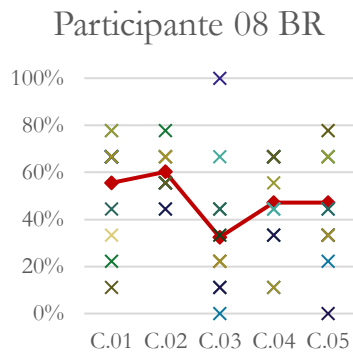
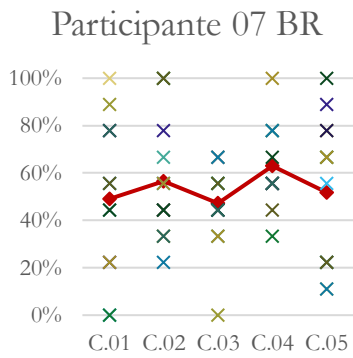
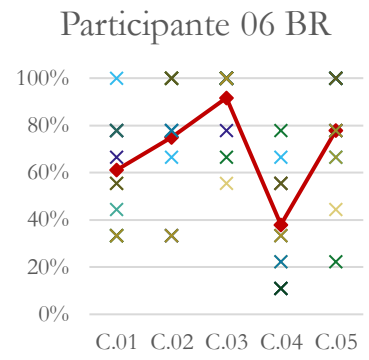
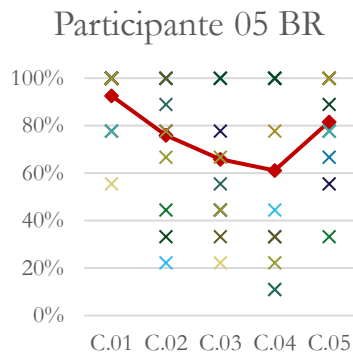
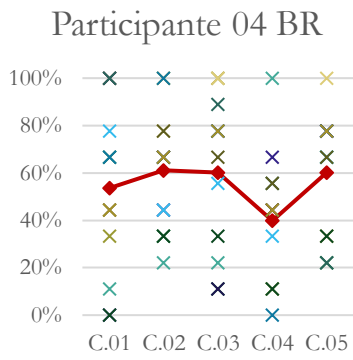


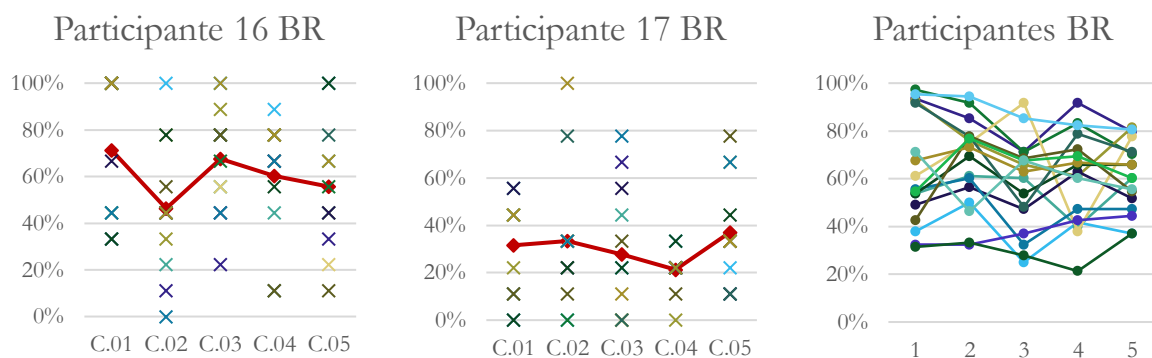
3.4.2 Avaliação dos resultados dos dados brutos

Do mesmo modo que no estudo piloto, os participantes foram avaliados individualmente, cujos resultados são mostrados na Figura 85. O último gráfico (Participantes BR) mostra o resultado médio de todos os participantes. É possível observar que na condição 01 (RI_ruim_IS_ruim) cinco participantes tiveram bom desempenho, enquanto nove tiveram desempenho entre 50 e 71%, indicando maior concentração de acertos nessa faixa. Na condição 03 (RI_ruim_IS_bom), 11 participantes tiveram desempenho nessa mesma faixa de acerto. Já na condição 04 (RI_boa_IS_boa), dez participantes tiveram média entre 60 e 82%. A condição RI_silêncio, no entanto, foi a que mais agrupou todos os participantes num intervalo sem *outliers*.

Figura 85 - Gráficos de taxas de acerto e médias por condição acústica de cada participante no Brasil.







A média de cada participante por condição acústica foi avaliada estatisticamente a fim de identificar quais participantes tinham obtido diferenças significativas entre os resultados em cada condição acústica. Dos 17 participantes, sete obtiveram p-valor < 0,05, destacados em cinza no gráfico da Tabela 10. Os valores destacados em amarelo consideram um p-valor < 0,10.

Tabela 10 - Média e análise de variância por participante do Brasil.

Participante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Média C.01	93,5 %	38,0 %	97,2 %	53,7 %	92,6 %	61,1 %	49,1 %	55,6 %	53,7 %	91,7 %	42,6 %	67,6 %	32,4 %	95,4 %	54,6 %	71,3 %	31,5 %
Média C.02	85,2 %	50,0 %	91,7 %	61,1 %	75,9 %	75,0 %	56,5 %	60,2 %	69,4 %	77,8 %	77,8 %	73,1 %	32,4 %	94,4 %	76,9 %	46,3 %	33,3 %
Média C.03	71,3 %	25,0 %	71,3 %	60,2 %	65,7 %	91,7 %	47,2 %	32,4 %	53,7 %	48,1 %	68,5 %	63,0 %	37,0 %	85,2 %	67,6 %	67,6 %	27,8 %
Média C.04	91,7 %	41,7 %	83,3 %	39,8 %	61,1 %	38,0 %	63,0 %	47,2 %	65,7 %	78,7 %	72,2 %	66,7 %	42,6 %	82,4 %	69,4 %	60,2 %	21,3 %
Média C.05	79,6 %	37,0 %	70,4 %	60,2 %	81,5 %	77,8 %	51,9 %	47,2 %	65,7 %	71,3 %	54,6 %	65,7 %	44,4 %	80,6 %	60,2 %	55,6 %	37,0 %
p-valor	0,03	0,10	0,01	0,33	0,05	0,01	0,39	0,02	0,10	0,00	0,00	0,51	0,54	0,43	0,21	0,14	0,60
Diferença C.01-C.02	0,71	0,61	0,90	0,94	0,50	0,44	0,88	0,95	0,20	0,60	0,00	0,84	1,00	1,00	0,16	0,13	1,00
Diferença C.01-C.03	0,03	0,56	0,01	0,96	0,12	0,01	1,00	0,05	1,00	0,00	0,03	0,90	0,94	0,71	0,61	0,99	0,98
Diferença C.01-C.04	1,00	0,98	0,31	0,70	0,05	0,07	0,52	0,78	0,42	0,66	0,01	1,00	0,59	0,53	0,50	0,76	0,71
Diferença C.02-C.03	0,29	0,07	0,06	1,00	0,82	0,28	0,79	0,01	0,20	0,05	0,73	0,44	0,94	0,77	0,81	0,25	0,94
Diferença C.02-C.04	0,84	0,83	0,72	0,36	0,59	0,00	0,92	0,46	0,96	1,00	0,93	0,77	0,59	0,59	0,89	0,61	0,59
Diferença C.03-C.04	0,06	0,34	0,44	0,40	0,98	0,00	0,41	0,34	0,42	0,04	0,98	0,95	0,90	0,99	1,00	0,91	0,90

Dos sete participantes que obtiveram p-valor significativo, seis tiveram resultado significativo quando comparadas as condições 01 e 03, isto é, “RI_ruim_IS_ruim” e “RI_ruim_IS_boa”, indicando que há uma diferença significativa no desempenho cognitivo desses

participantes quando o isolamento sonoro difere e a resposta impulsiva permanece a mesma nos áudios auralizados. Quando o isolamento sonoro é ruim e se altera apenas a resposta impulsiva, apenas um participante teve diferença significativa nos testes. Quando o isolamento sonoro é bom e somente a resposta impulsiva foi alterada, há diferença significativa nos resultados de apenas dois participantes. O mesmo caso ocorre entre as condições “RI_ruim_IS_ruim” e “RI_boa_IS_boa” e entre as condições “RI_boa_IS_ruim” e “RI_ruim_IS_boa”.

Para esse grupo de participantes, a média e mediana, bem como desvio-padrão, estão apresentados na Tabela 11. Na condição 02, “RI_boa_IS_ruim” a média de acertos dos participantes foi maior em comparação com as outras condições acústicas, enquanto a condição 03, “RI_ruim_IS_boa”, teve a menor média. As duas condições em que o isolamento sonoro era ruim e, portanto, o ruído residual atingia o nível de 50 dB, tiveram as maiores médias.

Tabela 11 - Média e Mediana de cada condição acústica no experimento objeto.

	C.01	C.02	C.03	C.04	C.05
Média	63,62%	66,88%	57,84%	60,29%	61,22%
Mediana	68,30%	69,28%	59,48%	63,07%	65,03%
Desvio-padrão	20,66%	20,77%	25,60%	22,64%	24,90%

Agrupando as médias dos participantes por condição em gráfico do tipo *boxplot*, tem-se os resultados mostrados na Figura 86 considerando as respostas nulas e na Figura 87 desconsiderando as respostas em que a ordem de todos os números não foi acertada. A condição “RI_ruim_IS_ruim” apresenta a maior média de acertos, mas também a maior variabilidade dos dados (73,15%). Embora o terceiro quartil apresente o maior valor dentre as condições, também é nesta condição que há uma maior distância para o segundo quartil (mediana), indicando que não há homogeneidade nos dados e, portanto, os participantes não são afetados de modo similar por essa condição. O oposto pode ser visto na condição “RI_silêncio”, em que a amplitude total entre médias de taxas de acerto foi de 44,44% e os participantes obtiveram médias mais similares. Na condição “RI_boa_IS_ruim”, condição 02, um quarto dos participantes teve média entre 73,15 e 77,78%, sendo o primeiro valor a mediana deste grupo, a maior dentre todas. As duas condições com isolamento sonoro bom, condições acústicas 03 e 04, apresentaram a mesma mediana, mas a condição “RI_boa_IS_boa” teve uma maior variação entre as médias por participante.

Figura 86 – Gráfico *boxplot* da média de acertos por condição acústica considerando respostas nulas.

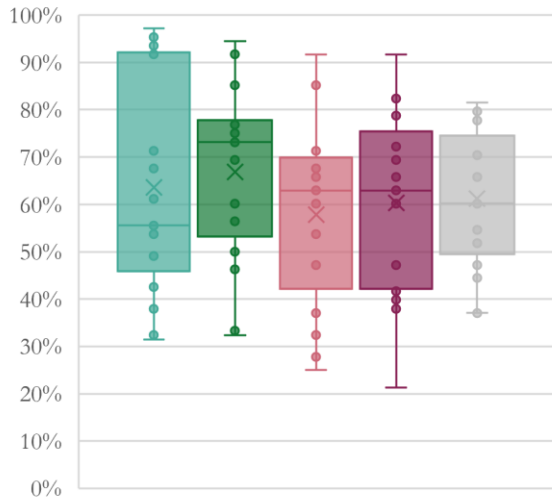
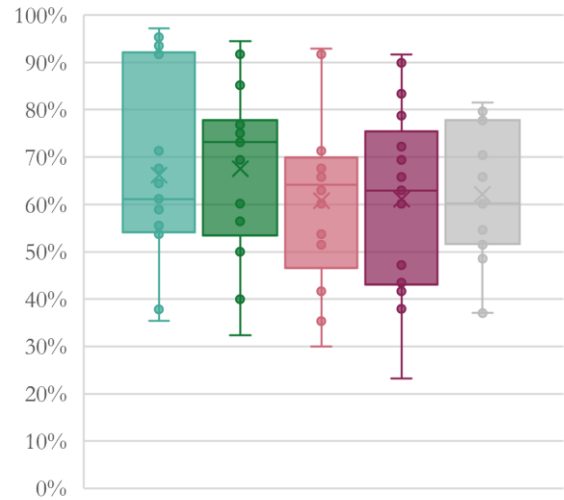


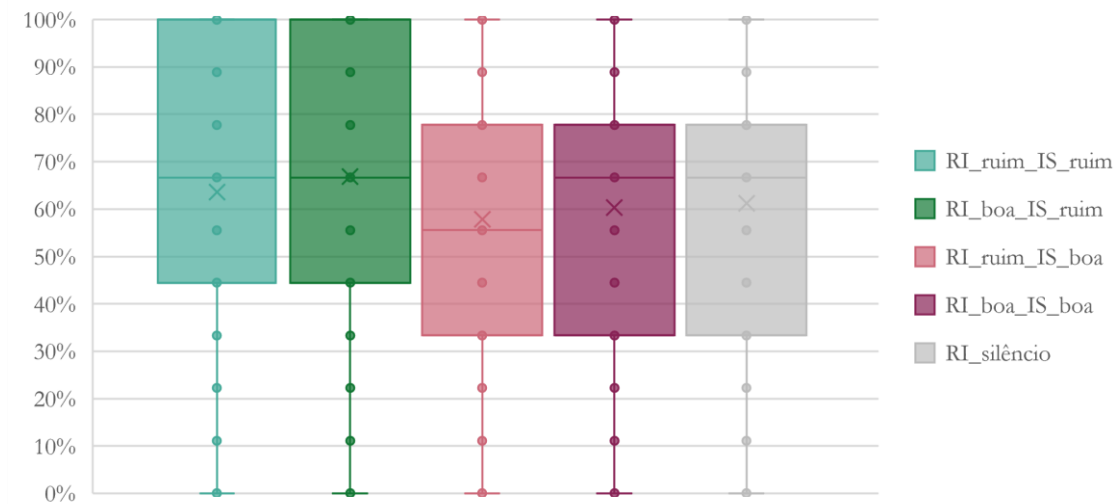
Figura 87 – Gráfico *boxplot* da média de acertos por condição acústica desconsiderando respostas nulas.



RI_ruim_IS_ruim RI_boa_IS_ruim RI_ruim_IS_boa RI_boa_IS_boa RI_silêncio

Ao observar o gráfico da Figura 87, que desconsidera as taxas de acerto iguais a 0% para o cálculo das médias dos participantes, vê-se um comportamento semelhante quando comparadas as medianas. No entanto, a condição 03 passa a apresentar o *box* menor, indicando que metade dos participantes tiveram médias mais semelhantes entre si em comparação às outras condições.

Figura 88 – Gráfico *boxplot* de acertos por condição acústica considerando taxas de acerto nulas.

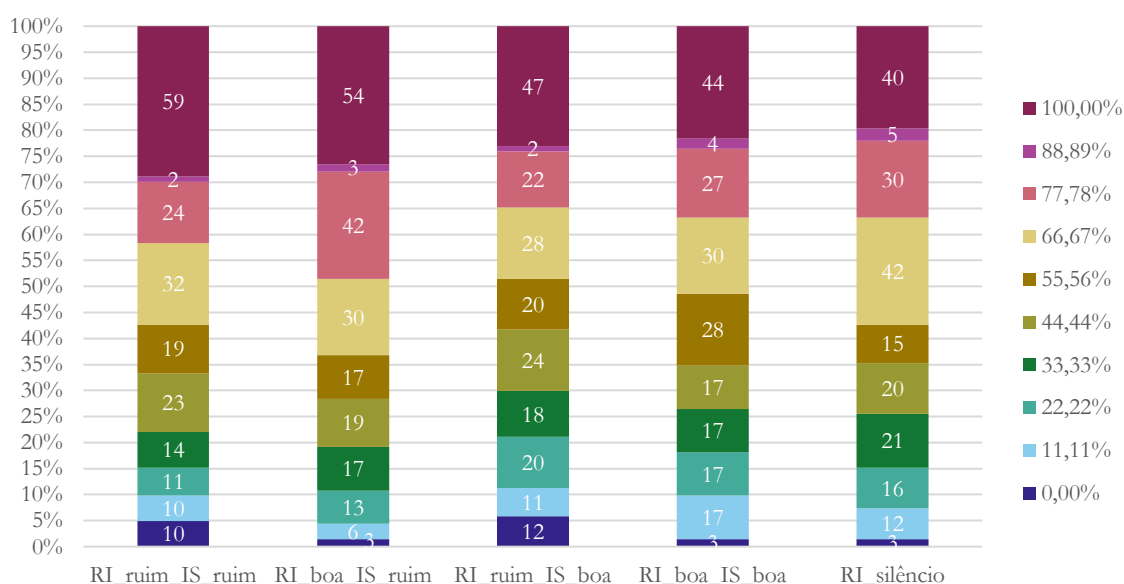


O gráfico da Figura 88, o *boxplot* considera as taxas de acerto por condição acústica sem agrupá-las por participante. É possível perceber que a mediana em todas as condições, com exceção da condição 03, é de 66,67%. A distribuição das taxas de acerto é igual nas condições com isolamento ruim, tendo o terceiro quartil igual a 100%, bem como nas condições de isolamento acústico bom

e silêncio, nas quais o *box* está posicionado entre 33,33% e 77,78%. A condição 03 apresenta mediana de 55,55%, apesar da distribuição igual.

Embora o primeiro e o terceiro quartis estejam posicionados mais abaixo nas condições acústicas com isolamento sonoro bom, nessas condições há uma distribuição mais homogênea das taxas de acerto, variando entre 33,33 e 77,78% para metade dos participantes. Quando consideradas quantas vezes cada taxa de acerto se repete por condição acústica, a distribuição se dá como mostrada no gráfico da Figura 89.

Figura 89 - Gráfico de quantidade de repetições por taxa de acerto em cada condição acústica.

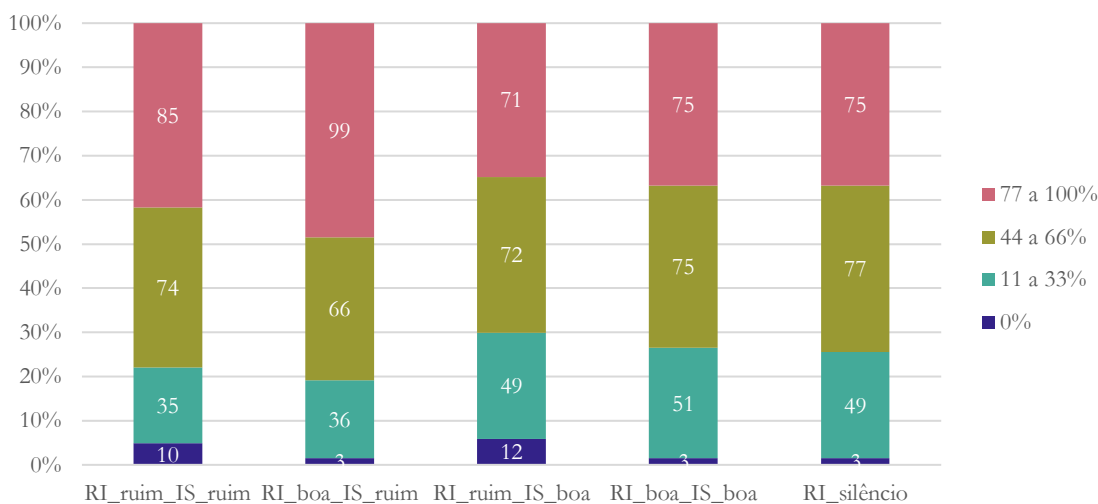


Novamente, em comparação com o grupo da Alemanha, tem-se mais repetições da taxa de acerto de 100% na condição “RI_ruim_IS_ruim”, considerada a de pior qualidade acústica. No entanto, nessa condição tem-se a segunda maior quantidade de repetições de 0% de acertos, logo após a condição “RI_ruim_IS_boa” com apenas 2 repetições a mais. A condição “RI_boa_IS_ruim” apresentou 42 repetições na taxa de acerto de 77,78. Ao agrupar as taxas de acertos, como feito para o grupo da Alemanha, essa condição é a que apresenta mais repetições no grupo de taxas de acerto entre 77 e 100%, como pode ser visto no gráfico da Figura 90. As condições com bom isolamento acústico e ruído rosa apresentaram menores valores na taxa de acerto de 100% dos números em ordem.

Todas as condições acústicas, à exceção da condição 02, apresenta quantidade semelhante de repetições entre 44 e 66%. É interessante observar que as condições com isolamento bom e silêncio tiveram número igual ou muito semelhante de repetições nas faixas de 44 a 66% e 77 a

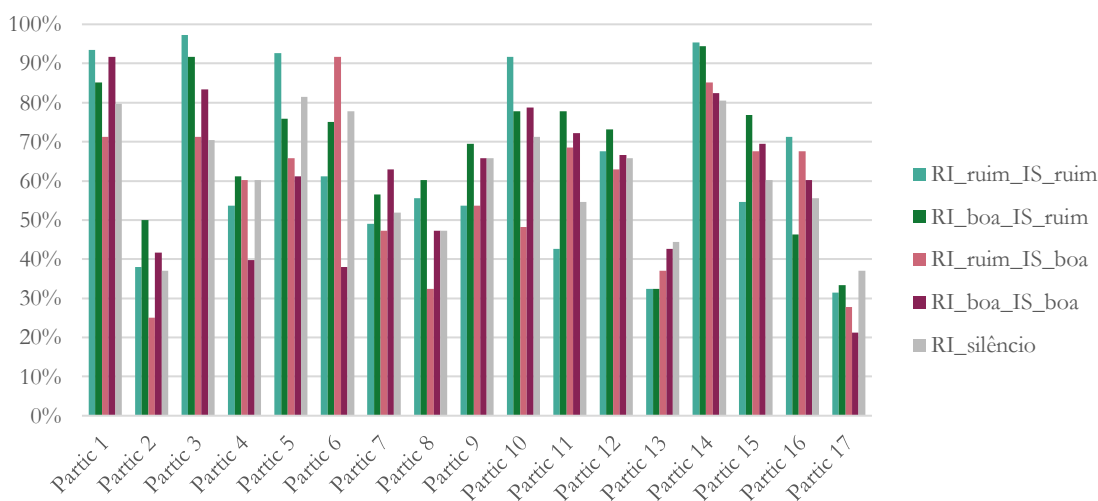
100% de taxa de acerto. Enquanto isso, nas condições com isolamento ruim (condições 01 e 02), a quantidade de vezes que as taxas de acerto variam entre 77 e 100% é maior que a variação entre 44 e 66%. Vale ressaltar que, em comparação com a Alemanha, houve menos repetições com 0% de taxa de acerto, principalmente nas condições 02, 04 e 05.

Figura 90 - Gráfico de quantidade de repetições por grupo de taxa de acerto em cada condição acústica.



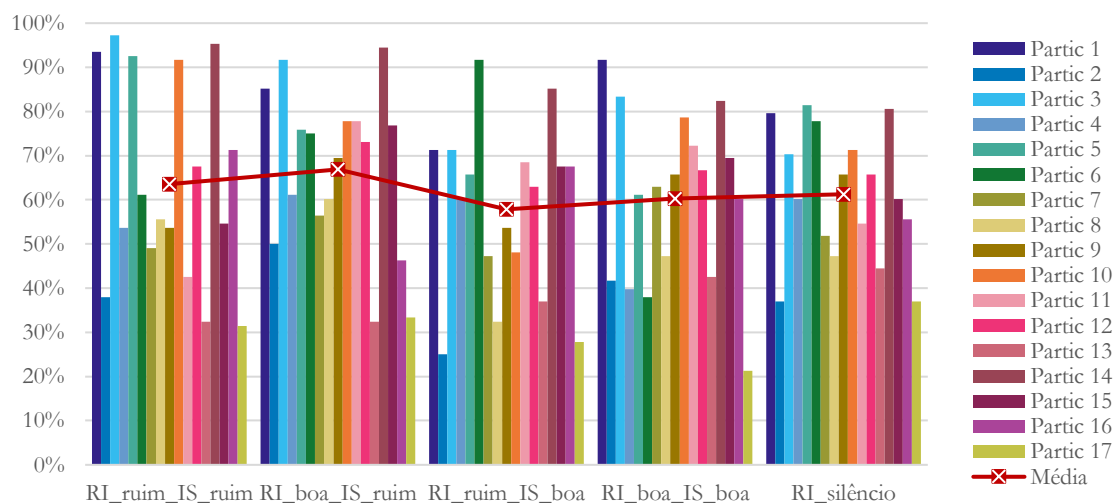
Ao comparar-se as médias entre condições acústicas por participante, vê-se que há uma certa homogeneidade da taxa de acerto independente da condição acústica, de modo geral. Aqueles participantes que possuem boa capacidade de memorização têm, em geral, boas médias independente da condição acústica. O mesmo acontece com os participantes que obtêm médias mais baixas. Alguns participantes, no entanto, como o Participante 06 e o Participante 10 apresentaram valor discrepante de modo significativo em pelo menos uma condição acústica.

Figura 91 - Gráfico de média de acertos por participante em cada condição acústica.



Posto de forma diferente, o gráfico da Figura 92 mostra como a média de acertos de cada participante varia em cada condição acústica. Percebe-se que, embora as médias por condição seja semelhante (linha em vermelho), há uma grande variabilidade de valores em cada condição acústica.

Figura 92 - Gráfico de média de acertos por condição acústica por cada participante.



Ao final de cada condição acústica, os participantes respondiam um questionário sobre aquela condição em que havia finalizado o teste. Considerando que os participantes no Brasil não eram *experts* da área, as perguntas do questionário foram primeiramente lidas e explicadas para não haver dúvidas ou interpretações errôneas sobre elas. A primeira questão buscava saber a percepção do participante em relação à intensidade sonora e suas respostas são mostradas na Figura 93. Nas condições de isolamento sonoro ruim, a maioria dos participantes respondeu que a sala era barulhenta, havendo maior predominância da resposta “muito” na condição “RI_ruim_IS_ruim” e “moderadamente” na condição “RI_boa_IS_ruim”, indicando que as pessoas percebem a sala um pouco menos barulhenta quando a resposta impulsiva tem tempos de reverberação mais curtos. Nas salas com isolamento sonoro bom, as respostas foram predominantes na categoria “muito pouco”. A condição “RI_silêncio”, no entanto, teve respostas diversas, indicando que as pessoas têm percepções diferentes quanto ao ruído rosa.

A Figura 94 mostra o gráfico com as respostas à questão 02, que perguntava sobre quão reverberante era a sala. É possível perceber que as salas com isolamento sonoro bom tiveram a mesma taxa de resposta para “muito pouco”, indicando que o nível sonoro mais fraco pode ter influenciado nessa resposta. As respostas das condições de isolamento sonoro ruim corroboram para essa teoria, visto que a sala com resposta impulsiva boa, ou seja, tempo de reverberação baixo, teve respostas semelhantes à condição com resposta impulsiva ruim.

Figura 93 - Gráfico das respostas à "Questão 01 – Esta sala de aula soa barulhenta para você?"

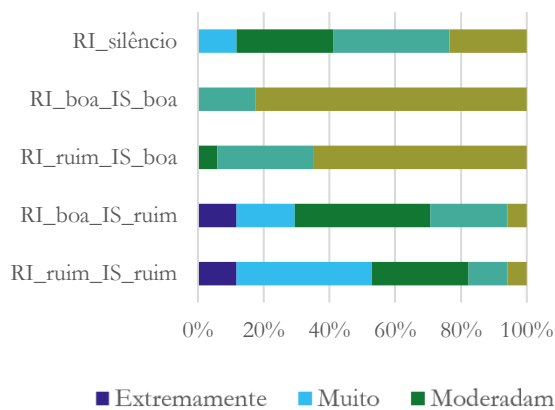
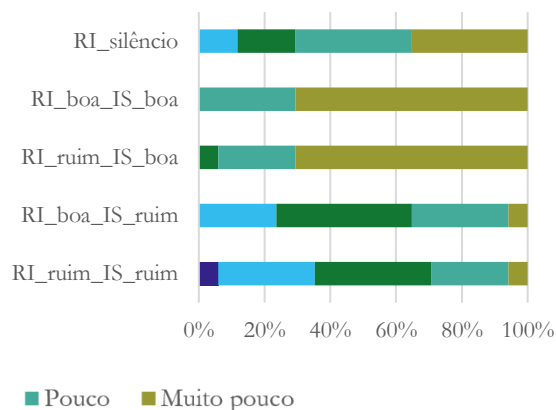


Figura 94 - Gráfico das respostas à "Questão 02 – Quanto reverberante é essa sala de aula para você?"



A questão 03 perguntava sobre a percepção da duração do tempo de reverberação na sala e teve respostas semelhantes à questão 02, como pode ser visto na Figura 95. Já a Figura 96 mostra o gráfico com as respostas à questão 04, que intencionava saber quanto claro era o ruído de fundo para os participantes. Nas condições com isolamento ruim, as respostas variaram de “extremamente” a “pouco”, tendo maioria das respostas na categoria “muito”. Já nas condições em que o isolamento sonoro era bom, as respostas tiveram predominância na categoria “muito pouco”. Pode-se inferir que o nível sonoro influencia na percepção das pessoas de quanto claro é o ruído, parâmetro ditado pelo tempo de reverberação.

Figura 95 - Gráfico das respostas à "Questão 03 – Como você percebe a duração do tempo de reverberação nessa sala de aula?"

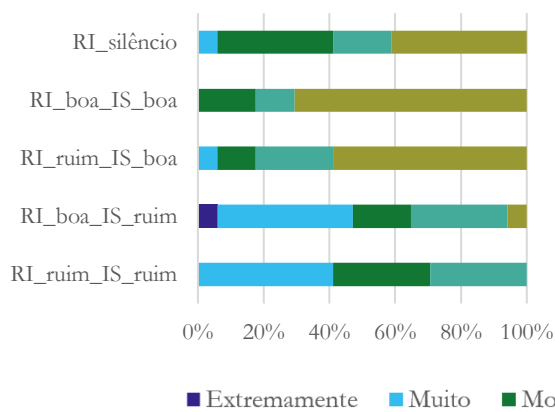
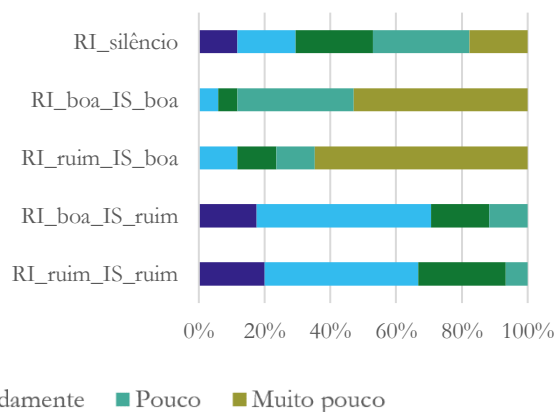


Figura 96 - Gráfico das respostas à "Questão 04 – Quanto claro o ruído de fundo soa para você?"



A questão 05, cujos resultados são mostrados no gráfico da Figura 97, perguntava sobre o nível de irritação do participante naquela condição acústica. Tanto a condição “RI_boa_IS_boa” quanto a condição “RI_silêncio” tiveram um voto para “extremamente”, indicando que uma pessoa se sentiu irritada ao realizar a tarefa nas condições com menor nível de pressão sonora.

Embora haja uma predominância da categoria “muito pouco” nas condições com isolamento sonoro bom, respostas nas categorias “moderadamente” ainda apareceram. Já nas condições de isolamento ruim, a maioria das pessoas respondeu entre “extremamente”, “muito” e “moderadamente”, embora votos em “pouco” e “muito pouco” também tenham aparecido.

Figura 97 - Gráfico das respostas à "Questão 05 – Quanto irritado(a) você se sentiu nessa sala de aula?"

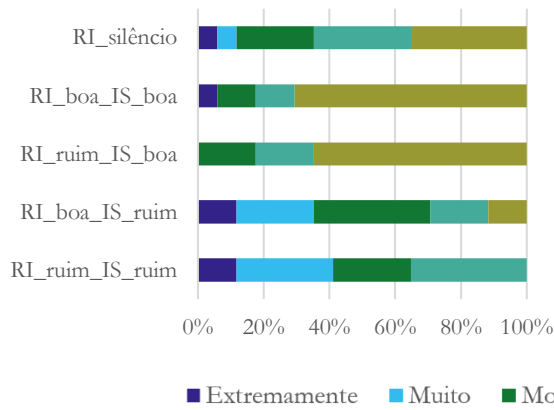
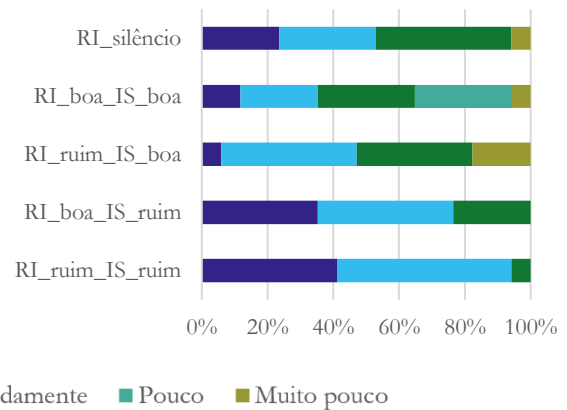


Figura 98 - Gráfico das respostas à "Questão 06 – Quanto concentrado(a) você precisou ficar para finalizar o teste nessa sala de aula?"



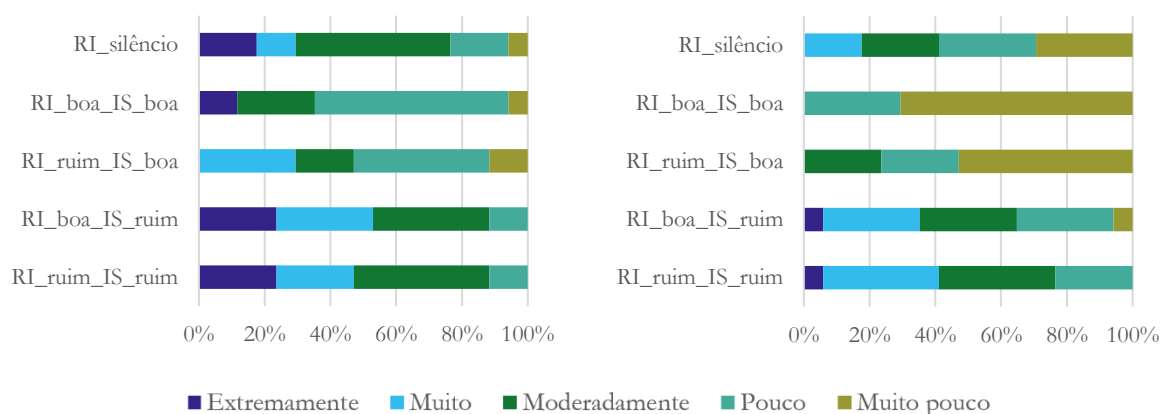
O gráfico da Figura 98 mostra as respostas à questão 06, que intencionava saber o grau de concentração dos participantes para finalizar os testes. Em todas as condições houveram participantes que responderam “extremamente” ou “muito”, indicando que o teste em si exige alto grau de concentração. Nas condições com isolamento ruim, em que o nível sonoro é mais elevado, as respostas variaram entre os níveis “extremamente” e “moderado”, este último com menos quantidade de votos. Na condição “RI_ruim_IS_boa” houve três participantes que responderam que o grau de concentração necessário foi “muito pouco”, enquanto na condição “RI_boa_IS_boa” apenas um participante respondeu essa categoria e cinco respostas na categoria “pouco”. Alguns participantes relataram, após o teste, que a condição mais silenciosa do ruído de tráfego (“RI_boa_IS_boa”) exigia muita concentração por ser muito silenciosa e, portanto, facilitar a distração da tarefa.

Na questão 07, em que foi perguntado sobre o nível de dificuldade (Figura 99), a condição “RI_ruim_IS_boa” foi a única a não ter respostas na categoria “extremamente”. Essa condição acústica, no entanto, foi a única que teve mediana mais baixa quanto às taxas de acerto. As condições acústicas que apresentavam isolamento sonoro bom tiveram maioria dos votos na categoria “pouco”, enquanto as condições com isolamento ruim tiveram predominância na categoria “moderadamente”.

O gráfico da Figura 100 mostra as respostas à questão 08, que buscava saber quanto perturbador foi o ruído de fundo para o participante. A condição “RI_ruim_IS_ruim” teve predominância de votos nas categorias “muito” e “moderadamente”, não apresentando votos na categoria “muito pouco”. Já a condição “RI_boa_IS_ruim”, houve uma tendência semelhante, mas com um voto na categoria “muito pouco”. Para os participantes, a condição “RI_boa_IS_boa” foi pouco ou muito pouco perturbadora, já a condição “RI_ruim_IS_boa” foi também moderadamente perturbadora.

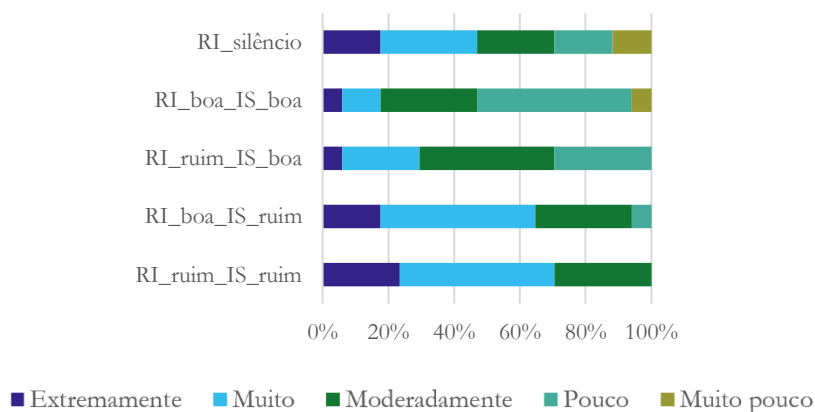
Figura 99 - Gráfico das respostas à "Questão 07 – Quanto difícil foi o teste nessa sala de aula?"

Figura 100 - Gráfico das respostas à "Questão 08 – Quanto perturbador foi o ruído de fundo nessa sala de aula para você?"



A última questão intencionava saber o grau de esforço dos participantes em cada condição. O gráfico da Figura 101 mostra que em todas as condições, a maioria dos participantes votaram nas categorias “extremamente”, “muito” ou “moderadamente”, à exceção da condição “RI_boa_IS_boa”, que concentrou maioria dos votos na categoria “pouco”.

Figura 101 - Gráfico das respostas à "Questão 09 – Quanto esforço você precisou fazer para realizar a tarefa nessa condição?"



Embora mais de 50% participantes tenham dito que fizeram pouco ou muito pouco esforço na condição “RI_boa_IS_boa”, o resultado das taxas de acerto não é condizente com essa percepção, visto que os resultados não foram melhores que nas outras condições. O som mais “agradável”, no entanto, pode ter passado a percepção de menos esforço.

3.5 Resultados do teste de desempenho cognitivo com ruído de tráfego (geral)

Ao combinar os dados dos dois estudos a fim de avaliar como se deu o desempenho dos participantes na tarefa de memorização sob ruído de tráfego, os resultados de média, mediana e desvio-padrão foram conforme mostrados na Tabela 12. A condição em que os participantes tiveram pior desempenho foi a condição “RI_ruim_IS_boa” e o melhor desempenho foi na condição “RI_boa_IS_ruim”, com variação de 5,78% entre as condições. A condição “RI_boa_IS_boa” obteve média muito próxima da condição “RI_silêncio”, indicando que os participantes tiveram médias muito similares nas duas condições, que são a mais silenciosa com o ruído de tráfego e a condição com ruído rosa.

Tabela 12 - Média e Mediana de cada condição acústica no experimento total com ruído de tráfego.

	C.01	C.02	C.03	C.04	C.05
Média	62,51%	64,34%	58,56%	60,44%	60,41%
Mediana	56,48%	69,44%	60,19%	61,11%	60,19%
Desvio-padrão	21,18%	19,06%	17,66%	20,32%	16,29%

Ao calcular a mediana, vê-se que na condição 01, “RI_ruim_IS_ruim”, há uma diminuição entre média e mediana em 6,03%, indicando que existem valores extremos que elevam a média nessa condição. A condição acústica 05 também apresenta valor menor na mediana, mas muito próximo ao da média. Nas outras condições, a mediana é sempre maior que a média. Como os coeficientes de variação foram calculados antes e a média nos dois grupos era representativa, essa estatística continuará sendo avaliada no grupo geral.

Ao avaliar a distribuição das médias de taxas de acerto dos participantes por condição acústica (Figura 102), vê-se que a condição “RI_boa_IS_boa” apresenta maior variação na distribuição das respostas, principalmente ao avaliar-se os 50% das respostas que são agrupadas no *box* dessa condição. As condições com isolamento acústico ruim (condições 01 e 02) apresentam *box* semelhante, mas com mediana expressivamente diferente, sendo a condição “RI_boa_IS_ruim” a que apresenta maior média e mediana.

Ao analisar o gráfico da Figura 103, que não considera as respostas nulas, isto é, quando os participantes erraram a ordem completa de números, vê-se comportamento semelhante em

todas as condições à exceção da condição “RI_ruim_IS_boa”, que passa a apresentar resultados mais homogêneos no *box*, o que indica que muitas médias são impactadas por respostas nulas nesse grupo.

Figura 102 – Gráfico *boxplot* da média de acertos por condição acústica considerando respostas nulas.

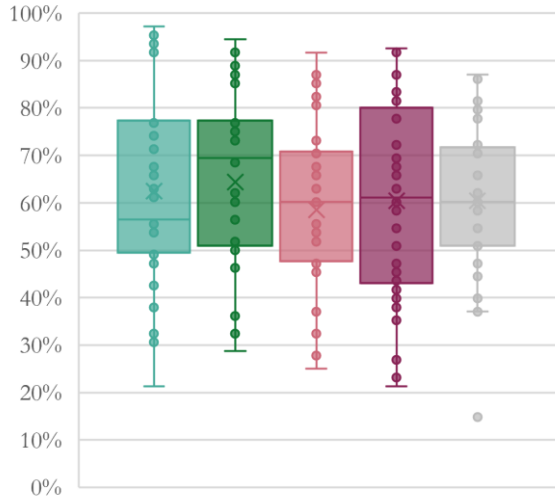
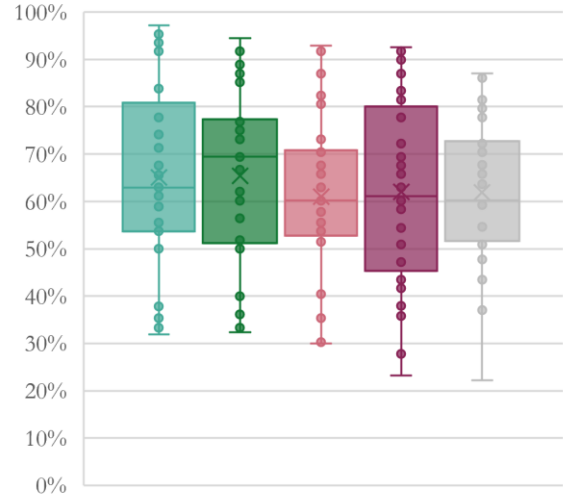


Figura 103 – Gráfico *boxplot* da média de acertos por condição acústica desconsiderando respostas nulas.

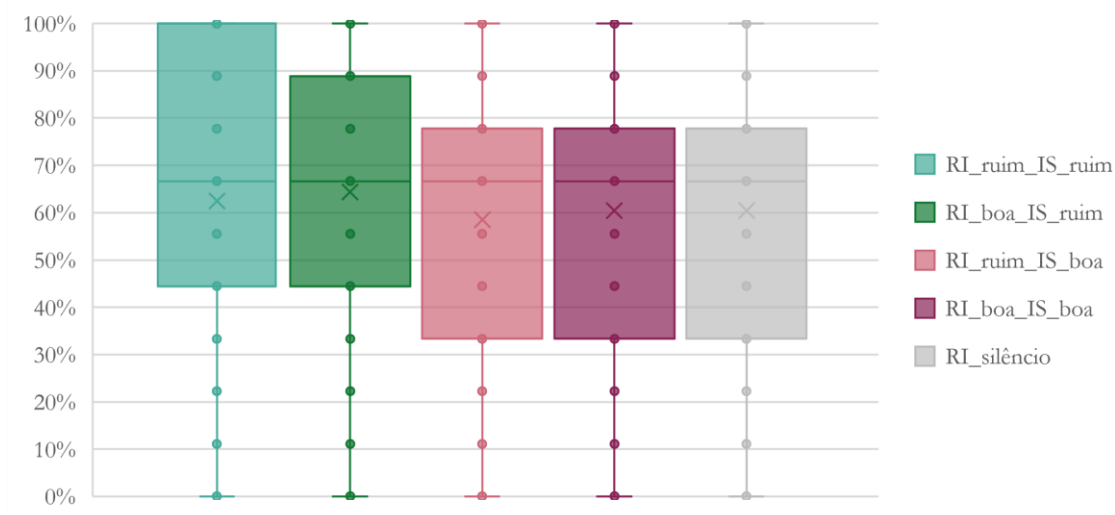


■ RI_ruim_IS_ruim ■ RI_boa_IS_ruim ■ RI_ruim_IS_boa ■ RI_boa_IS_boa ■ RI_silêncio

Contrapondo-se esses resultados com os apresentados por Muhammad, Vorländer e Schlittmeier (2019), não há uma melhoria evidente do desempenho cognitivo dos participantes ao melhorar as condições acústicas da sala.

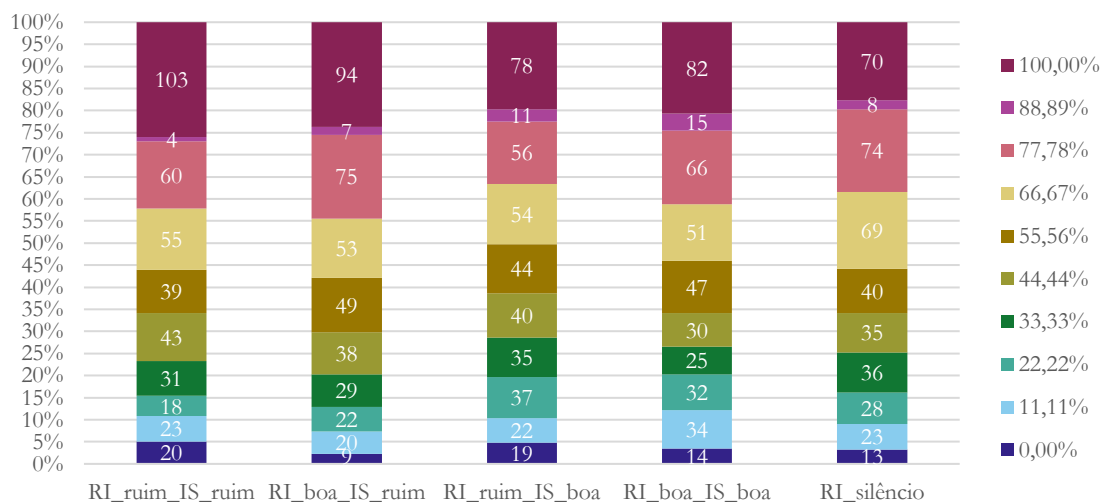
Analisando quantas vezes as taxas de acerto são repetidas por condição, sem considerar as médias dos participantes, observa-se na Figura 104 que a única condição acústica em que a taxa de acerto de 100% está inclusa no terceiro quartil é a condição “RI_ruim_IS_ruim”, seguida pela condição “RI_boa_IS_ruim” ao considerar os melhores desempenhos. As outras três condições apresentam a distribuição igual entre si.

Figura 104 – Gráfico *boxplot* de acertos por condição acústica considerando taxas de acerto nulas.



Para avaliar a distribuição das taxas de acerto pela quantidade de vezes em que ela foi repetida, foi gerado o gráfico da Figura 105. Na Figura 106 este mesmo gráfico é apresentado através do agrupamento de algumas taxas de respostas.

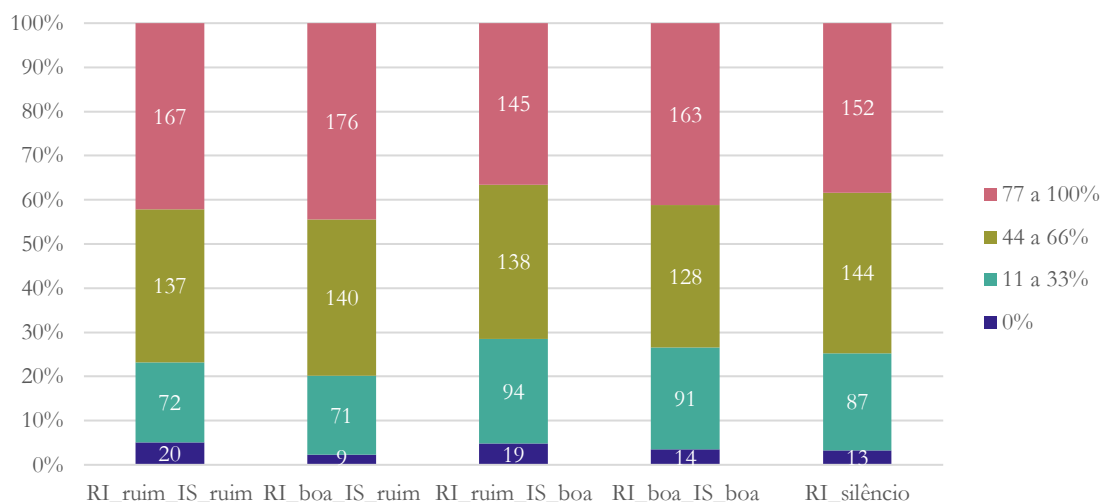
Figura 105 - Gráfico de quantidade de repetições por taxa de acerto em cada condição acústica.



Pode-se observar que a condição 02, “RI_boa_IS_ruim”, foi a que teve maior repetição das taxas de acerto mais elevadas e menor repetição de respostas nulas. Nas faixas de acerto entre 11,11 e 33,33% e entre 44,44 e 66,67%, essa condição obteve quantidades de acertos semelhantes à condição “RI_ruim_IS_ruim”. Porém, visto que nessa condição houve mais repetições na taxa de acerto de 100%, as médias são maiores e o *boxplot* apresenta um terceiro quartil maior que a condição 02. A condição “RI_boa_IS_boa” apresenta quantidade semelhante à condição “RI_ruim_IS_ruim” no grupo de maior taxa de acertos, porém a configuração dos outros grupos

indica o motivo da média na condição 04 ser menor, mesmo havendo menos repetições de respostas nulas.

Figura 106 - Gráfico de quantidade de repetições por grupo de taxa de acerto em cada condição acústica.



A partir da análise do agrupamento de taxas de acerto, fez-se uma nova análise retirando-se do banco de dados todos os testes em que os participantes não acertaram pelo menos um dos dois primeiros dígitos da memorização. Com isso, intencionou-se retirar do banco de dados aquelas taxas de acerto que poderiam não contribuir com a análise, sendo na maioria deles acertos aleatórios, visto que os participantes não haviam conseguido lembrar os números do começo da tarefa.

Para os participantes da Alemanha (Figura 107), a condição “RI_ruim_IS_ruim” apresentou uma mediana mais baixa que a condição “RI_boa_IS_ruim”, em que a resposta impulsiva apresenta um menor tempo de reverberação em comparação. O mesmo caso aconteceu para os participantes do Brasil (Figura 108), porém para este grupo houve uma maior variabilidade na média das taxas de acertos na condição “RI_ruim_IS_ruim”, representada por uma caixa de *boxplot* mais alongada no gráfico. Embora seja a condição em que o terceiro quartil apresenta maior valor, é também a que tem menor mediana, indicando que metade dos participantes tiveram média de acertos abaixo de 54,63%.

Figura 107 - Gráfico *boxplot* das médias de taxas de acertos dos participantes da Alemanha sem considerar acertos aleatórios.

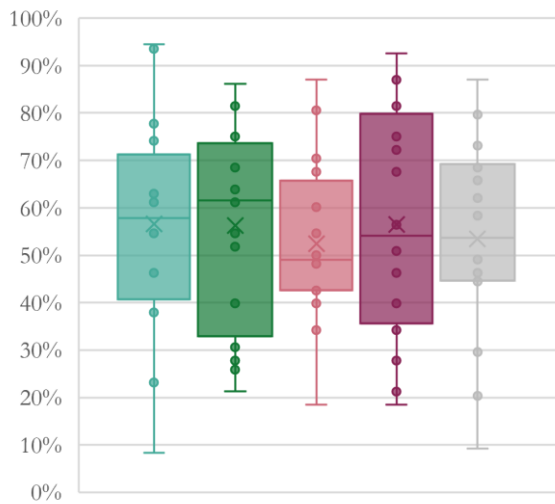
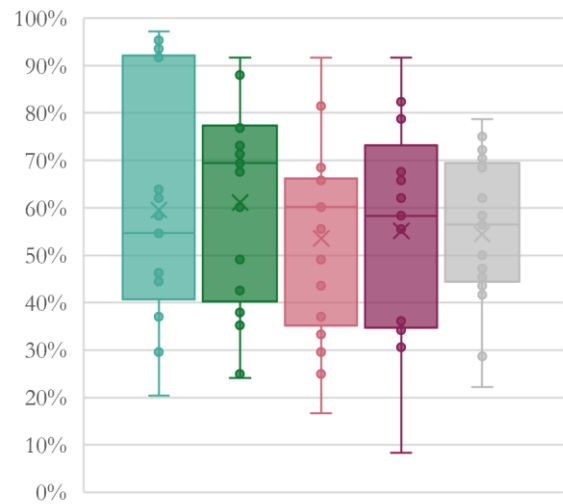


Figura 108 - Gráfico *boxplot* das médias de taxas de acertos dos participantes do Brasil sem considerar acertos aleatórios.



■ RI_ruim_IS_ruim ■ RI_boa_IS_ruim ■ RI_ruim_IS_boa ■ RI_boa_IS_boa ■ RI_silêncio

Para ambos os grupos, a condição “RI_boa_IS_ruim” é a que apresenta maior mediana e um intervalo entre primeiro e terceiro quartis semelhante em tamanho. Nos dois grupos, a condição “RI_ruim_IS_boa” apresenta a menor variabilidade na média das taxas de acertos quando consideradas as condições acústicas cujo ruído residual é o ruído de tráfego. Para o grupo do Brasil, a mediana foi mais elevada, em aproximadamente 60% em comparação com o grupo da Alemanha, em que essa estatística ficou em torno de 50%. Na condição “RI_boa_IS_boa”, a mediana permaneceu semelhante entre os grupos e houve uma variação de aproximadamente 40% em ambos os grupos, indicando que não há um comportamento homogêneo, assim como nas outras condições acústicas. A condição “RI_silêncio” apresentou baixa variabilidade nos dois grupos quando comparada às condições acústicas com ruído de tráfego.

A Tabela 13 apresenta as estatísticas média, mediana e desvio-padrão para os dois grupos em separado e em conjunto em cada uma das condições. Nos três casos, a média tem menor variação entre condições em comparação com a mediana.

Tabela 13 - Estatísticas dos grupos de participantes da Alemanha, Brasil e geral quando retirados acertos aleatórios.

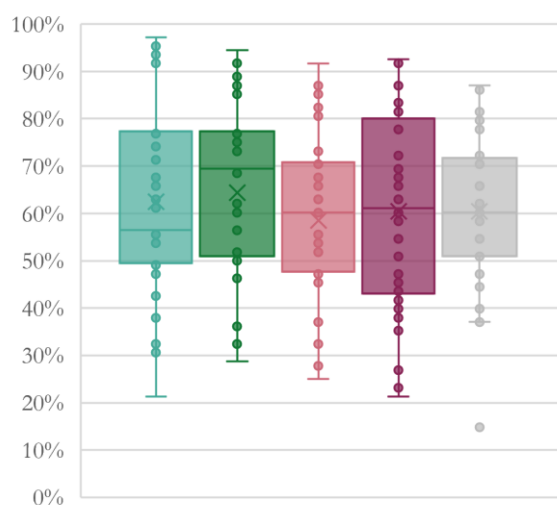
	C.01	C.02	C.03	C.04	C.05	
Alemanha	Média	56,60%	56,31%	52,37%	56,54%	53,41%
	Mediana	57,87%	61,57%	49,07%	54,17%	53,70%
	Desvio-padrão	22,93%	21,39%	17,47%	23,99%	21,32%
Brasil	Média	59,48%	61,06%	53,54%	55,12%	54,47%

	Mediana	54,63%	69,44%	60,19%	58,33%	56,48%
	Desvio-padrão	25,67%	21,33%	20,33%	22,81%	15,97%
Geral	Média	58,08%	58,75%	52,97%	55,81%	53,96%
	Mediana	54,63%	63,89%	50,93%	56,48%	56,48%
	Desvio-padrão	24,04%	21,16%	18,71%	23,03%	18,46%

Ao juntar os dados dos grupos de ambos os países (Figura 110) e comparar com a média de acertos sem a exclusão das ordens em que os acertos foram considerados aleatórios (a Figura 109 traz o mesmo gráfico apresentado como Figura 102), percebe-se que a variabilidade entre médias de acertos aumenta em todas as condições acústicas. Os menores aumentos acontecem nas condições “RI_ruim_IS_boa” e “RI_silêncio”.

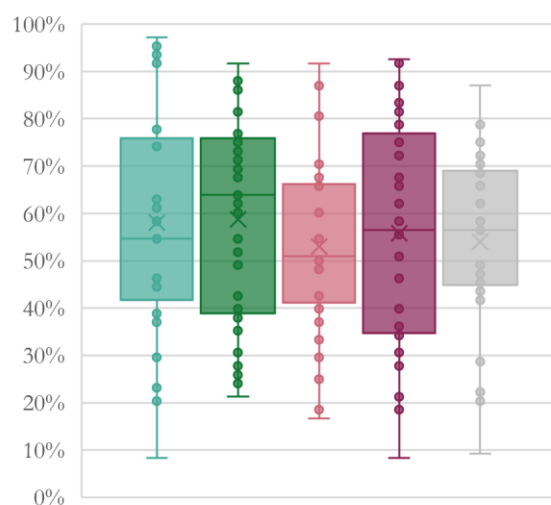
O comportamento das medianas entre si permanece o mesmo, havendo apenas um aumento maior na diferença entre valores das condições de isolamento acústico bom. A condição “RI_boa_IS_boa” apresenta o terceiro quartil apenas 1% maior que o mesmo quartil das condições de isolamento sonoro ruim e maior variabilidade, tendo o menor valor de primeiro quartil entre todas as condições. A condição “RI_ruim_IS_boa”, apesar de apresentar a menor variabilidade, apresenta a menor mediana entre as condições cujo ruído residual é o ruído de tráfego, indicando que essa condição produz influência sobre os participantes, visto que o comportamento é mais homogêneo entre as médias de taxas de acertos.

Figura 109 - Gráfico *boxplot* da média de acertos por condição acústica do ruído de tráfego considerando respostas nulas (mesmo gráfico da Figura 102).



■ RI_ruim_IS_ruim ■ RI_boa_IS_ruim ■ RI_ruim_IS_boa ■ RI_boa_IS_boa ■ RI_silêncio

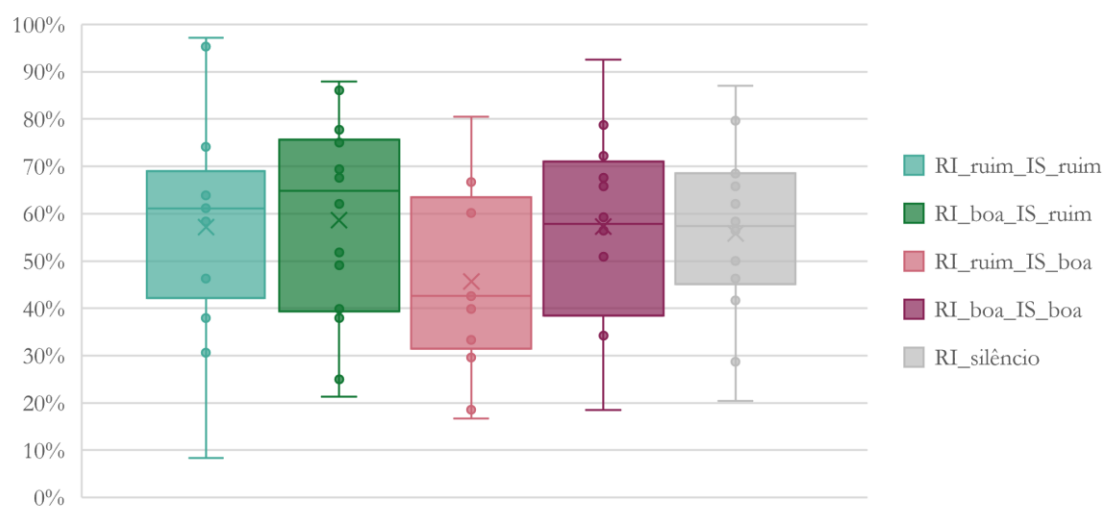
Figura 110 - Gráfico *boxplot* da média de acertos por condição acústica do ruído de tráfego desconsiderando respostas que tiveram erros nos dois primeiros dígitos.



Visto que os dados não apresentam tendência de comportamento semelhante entre participantes nem diferenças significativas entre condições acústicas, surgiu a hipótese de que os participantes poderiam ter sofrido com efeitos de fadiga, visto que o teste demora cerca de 40 a 45 minutos por participante. Embora os participantes tenham sido alertados sobre a possibilidade de fazer pequenos descansos entre as condições acústicas, foi observado que a maioria não fez descansos por mais de um minuto e que apenas dois retiraram os fones de ouvido e os óculos de realidade virtual durante as pausas.

Os participantes fazem um pequeno teste de três repetições para praticar a tarefa, cujos dados não são analisados. Foi visto que muitas vezes o tempo para apertar os botões dos dígitos se esgotava nas primeiras repetições e os participantes tinham taxas de acerto baixas em função disso, independente de qual fosse a primeira condição acústica. Para avaliar o efeito da fadiga e eliminar possível falta de prática com o teste, foram avaliadas somente a segunda e a terceira condição realizada por cada participante, cujos resultados estão dispostos no gráfico da Figura 111.

Figura 111 - Gráfico *boxplot* das condições acústicas respondidas nas Posições 2 e 3 da ordem do teste.



Levando em consideração que o teste de prática leva cerca de 1 minuto e meio e cada condição dura 6 minutos para ser respondida, a segunda condição começa a ser respondida depois de 7 minutos e meio de teste e a terceira condição é finalizada após 19 minutos e meio de teste, excluindo-se o tempo de resposta do questionário. Isso implica que os resultados avaliados condizem com um teste de curta duração, eliminando-se o efeito da fadiga.

O gráfico da Figura 111 mostra que a amplitude total das médias de acertos em todas as condições se mantém muito semelhante, porém o comportamento das caixas do *boxplot* é alterado. Na condição “RI_ruim_IS_ruim”, o intervalo entre o primeiro e o terceiro quartis diminuiu e a

mediana indica que metade dos participantes tiveram média de até aproximadamente 60% de acerto. A mediana da condição “RI_boa_IS_ruim” mantém-se semelhante, bem como a distribuição dos valores, mostrando que essa condição foi pouco afetada por essa possível fadiga ou falta de prática dos participantes. A melhoria do tempo de reverberação causa um leve aumento na mediana e no terceiro quartil quando comparadas as duas condições.

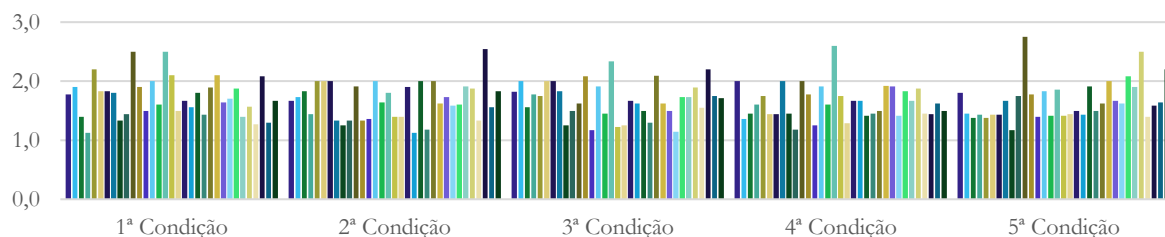
A condição 03, “RI_ruim_IS_boa”, apresentou diminuição de mediana, de amplitude total e de distribuição, tornando-se mais homogênea e apresentando o pior desempenho entre condições. Embora o isolamento sonoro melhore e, por consequência, o nível sonoro desta condição seja menos elevado em comparação às anteriores, houve uma diminuição de quase 20% na mediana desta condição em comparação. A condição “RI_boa_IS_boa” manteve a mediana semelhante à avaliação sem exclusão dos resultados por ordem de realização do teste. No entanto, houve uma diminuição na variabilidade das médias de taxas de acerto.

A condição “RI_silêncio” apresentou resultados mais homogêneos dentre todas as condições, apesar da amplitude total variar quase 70%. A mediana desta condição é semelhante à condição “RI_boa_IS_boa”.

Quando avaliados individualmente no desempenho entre a segunda e a terceira condição, 14 participantes, dos 33 ao todo, não apresenta melhora ou piora do desempenho de acordo com o esperado em relação à condição acústica. Porém para seis desses participantes, a diferença na média da taxa de acerto é menor que 10%.

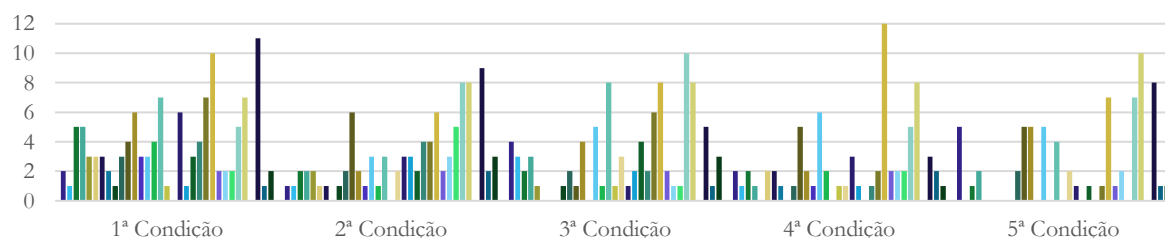
Foram avaliados também a média do tempo de resposta do participante, considerando o tempo que esse leva até apertar o primeiro botão a partir de quando os botões aparecem. Esse tempo de resposta foi avaliado considerando a ordem em que as condições foram realizadas por cada participante. Os resultados dispostos no gráfico da Figura 112 indicam que não há comportamento homogêneo para aumento ou diminuição do tempo de resposta à medida que o teste vai sendo realizado. Esse comportamento é esperado, visto que os participantes dispõem apenas de 10 segundos para apertar todos os botões e, portanto, tentam iniciar o quanto antes a tarefa.

Figura 112 - Gráfico do tempo de resposta dos participantes por condição em ordem de teste.



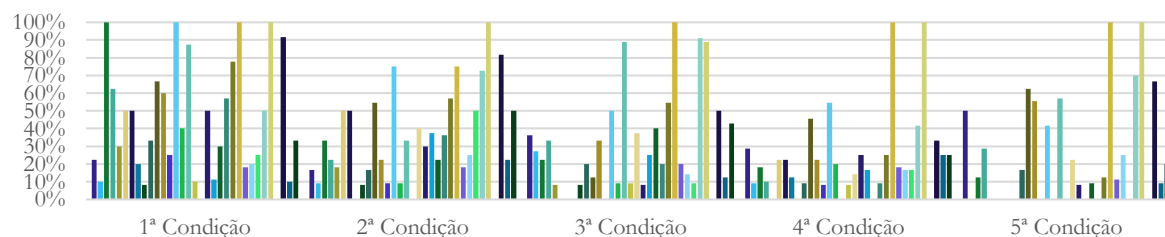
Foram analisados também quantas vezes cada participante deixou de finalizar a tarefa em função do tempo esgotado, mostrados no gráfico da Figura 113. Contrapondo-se os dois gráficos, não é possível identificar uma relação clara entre tempos de resposta mais lentos com quantidade de vezes de tempo esgotado por participante. No entanto, vale ressaltar que o gráfico do tempo de resposta considera uma média em todas as repetições por condição acústica.

Figura 113 - Gráfico de vezes em que o tempo foi esgotado por participante em cada condição em ordem de teste.



Não foram realizadas análises estatísticas para estas últimas análises, porém buscou-se entender se havia relação da quantidade de vezes de tempo esgotado com a quantidade total de repetições respondidas por participante em cada uma das condições acústicas, visto que haviam sido desconsideradas as repetições em que pelo menos um dos dois primeiros dígitos não havia sido memorizado corretamente. No gráfico da Figura 114, vê-se que a ordem da condição acústica não possui relação clara com a quantidade relativa de tempo esgotado para os participantes.

Figura 114 - Gráfico de taxa de tempo esgotado relativa ao total de repetições respondidas por condição.



A fim de analisar uma terceira dimensão, a condição acústica em si independentemente da ordem em que foi realizada no teste, os gráficos da Figura 115 (grupo Alemanha) e da Figura 116

(grupo Brasil) foram gerados de acordo com a ordem em que cada participante fez o teste, porém indicando qual condição acústica é cada uma delas através do esquema de cores. Os participantes 3 de ambos os grupos mostram o comportamento descrito anteriormente: na primeira condição realizada, sendo a “RI_boa_IS_boa” para o participante da Alemanha e a “RI_silêncio” para o participante do Brasil, a taxa relativa de tempo esgotado em relação às questões respondidas é maior que nas condições subsequentes, sendo ainda mais evidente para o participante da Alemanha.

Figura 115 - Gráfico de taxa de tempo esgotado relativa ao total de repetições respondidas no grupo da Alemanha.

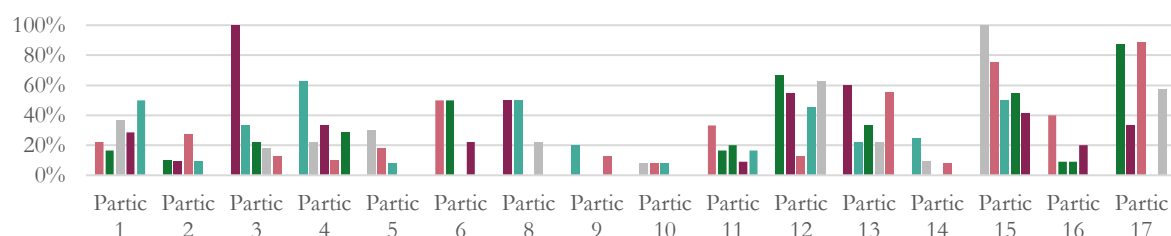
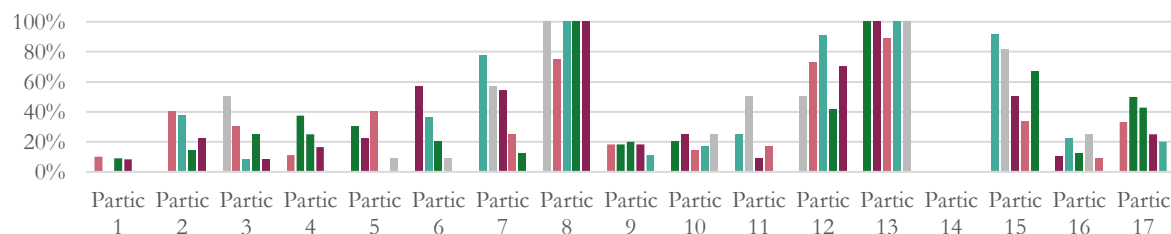


Figura 116 - Gráfico de taxa de tempo esgotado relativa ao total de repetições respondidas no grupo do Brasil.



Essas análises mostram que podem existir fatores de fadiga nos participantes, bem como falta de prática em função do bloco de prática ser mais curto. Levando esses fatores em consideração, planeja-se realizar o teste com conversa como ruído residual em duas ou três condições, após um bloco de prática mais duradouro. Além disso, esses fatores serão analisados estatisticamente, bem como os resultados das condições realizadas na segunda e terceira ordens, para avaliar a significância da diferença dos valores encontrados.

3.6 Resultado dos testes de desempenho cognitivo com ruído de conversa (experimento objeto no Brasil)

A fim de avaliar a influência do ruído externo no desempenho cognitivo dos usuários de salas de aula, foi realizada outra rodada de testes, desta vez considerando o ruído de conversas gravado no corredor de circulação do Setor IV da UFRN e autilizado nas mesmas condições do experimento com ruído de tráfego. Desta forma, as condições das salas permanecem iguais, alterando-se apenas o tipo de ruído escutado pelos participantes.

3.6.1 Caracterização dos participantes

Ao todo, 44 participantes realizaram o experimento com ruído de conversa. Foram coletadas informações sobre gênero, idade e escolaridade de cada um deles, bem como se já realizaram audiometria alguma vez na vida e se o resultado indicava perda auditiva. Conforme gráfico da Figura 117, a maioria dos participantes foi do gênero masculino totalizando aproximadamente 63% dos participantes. Quanto à idade, metade dos participantes tinham entre 18 e 25 anos (Figura 118), o que se relaciona fortemente com a escolaridade, estando 23 participantes no processo para obtenção do nível superior (Figura 119). Apenas 16 participantes, aproximadamente 37%, já realizaram audiometria alguma vez na vida. Nenhum deles, no entanto, alegou ter perda auditiva diagnosticada.

Figura 117 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto ao gênero.

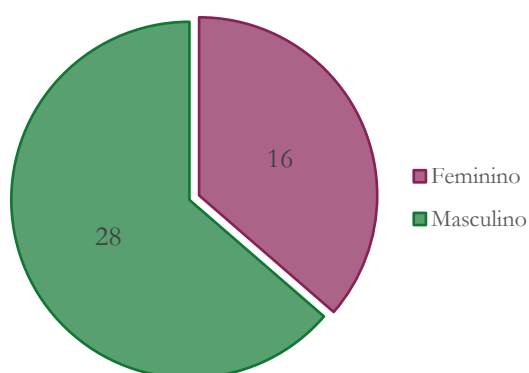


Figura 118 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à idade.

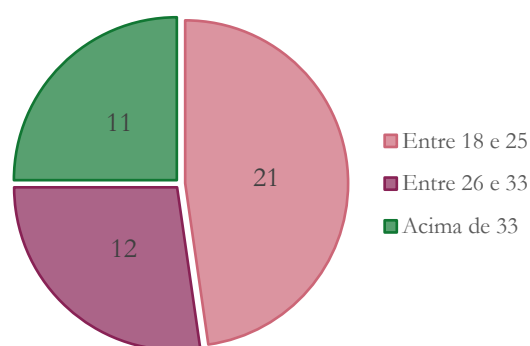


Figura 119 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à escolaridade.

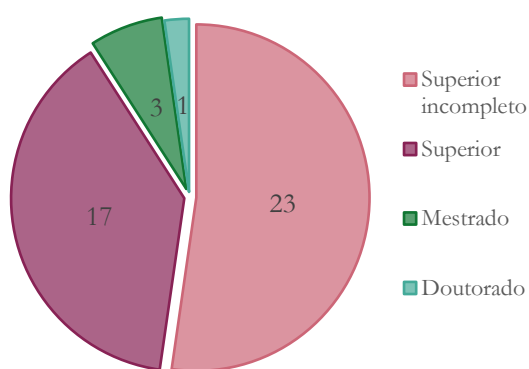
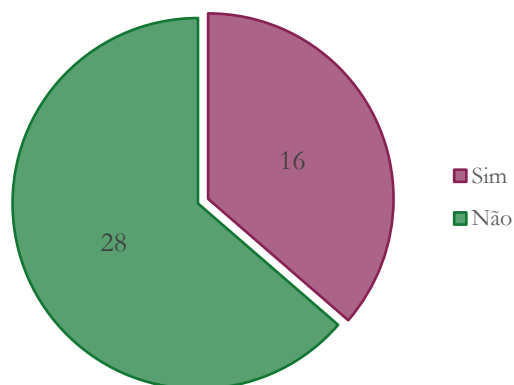


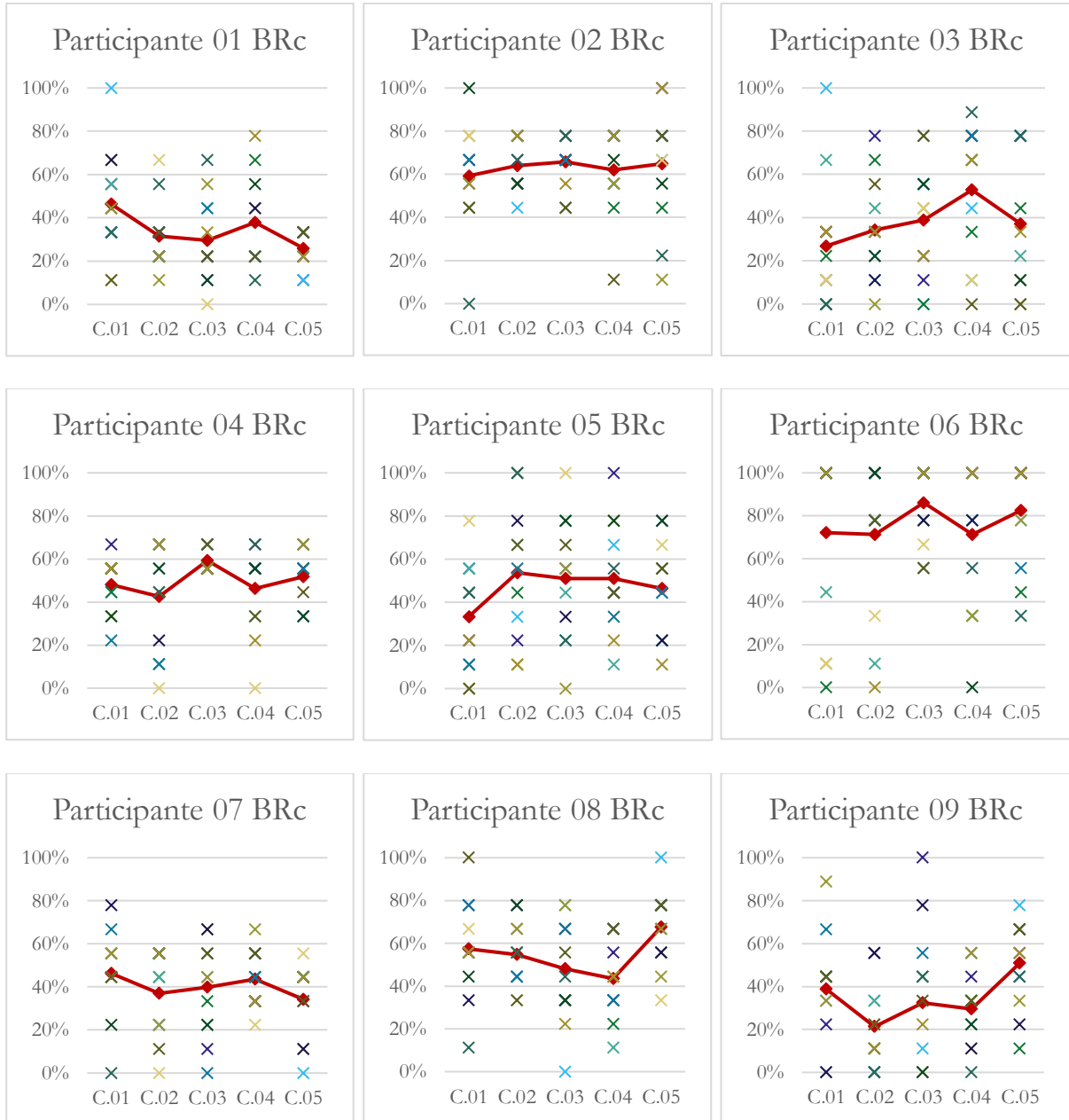
Figura 120 - Gráfico de caracterização dos participantes quanto à realização de audiometria.

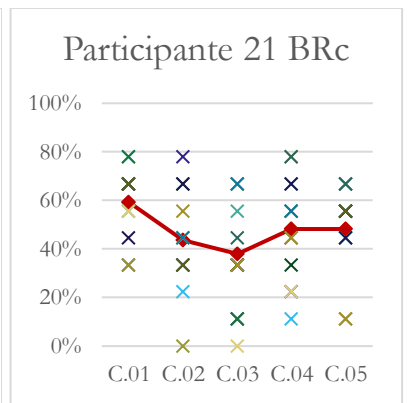
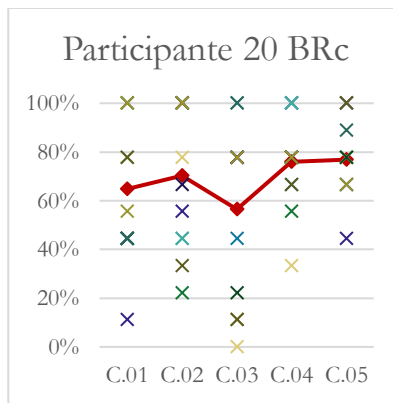
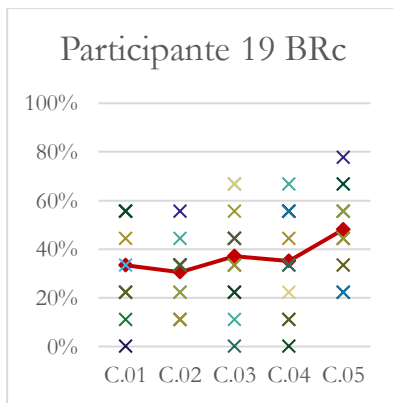
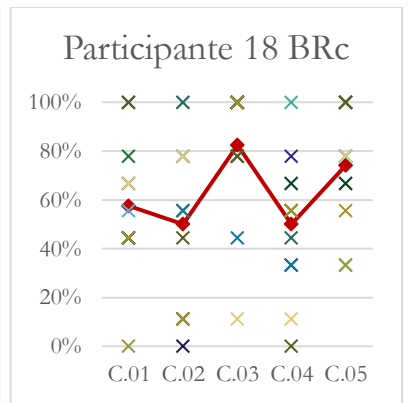
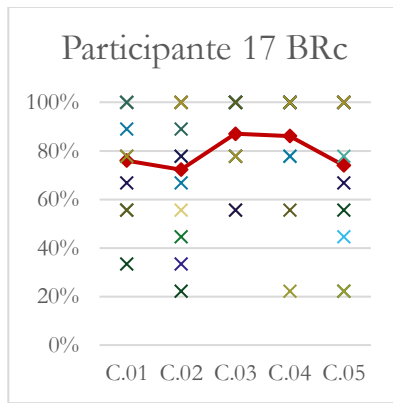
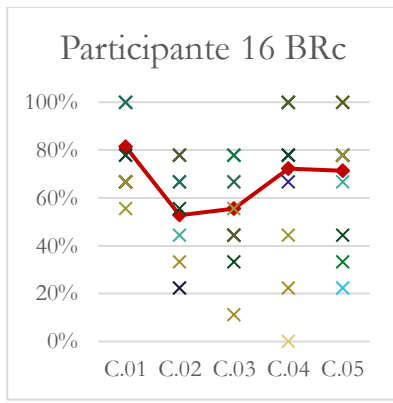
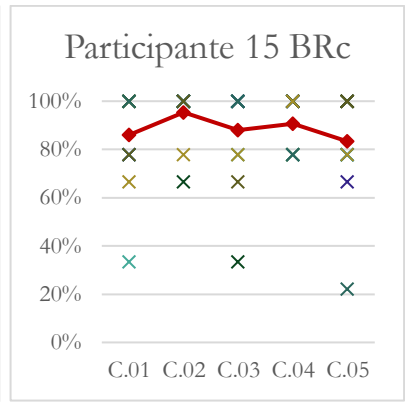
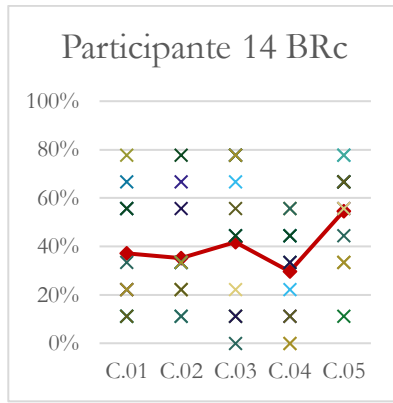
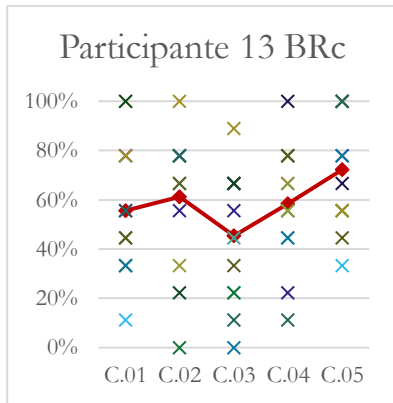
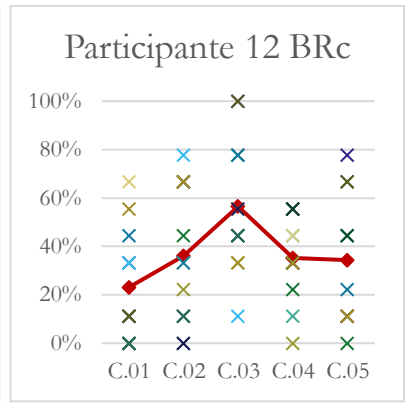
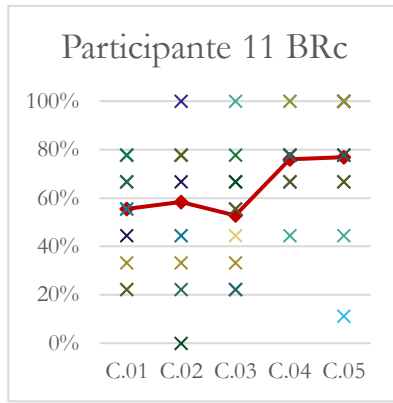
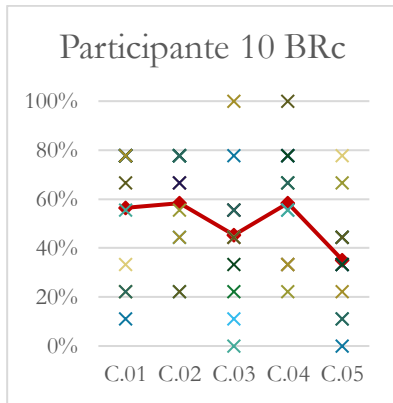


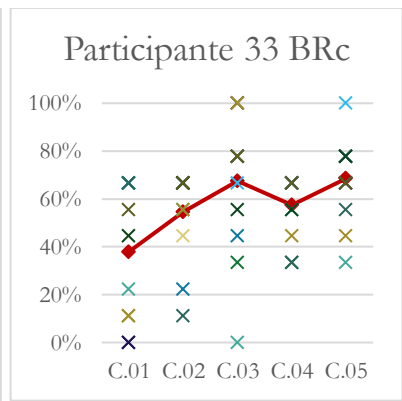
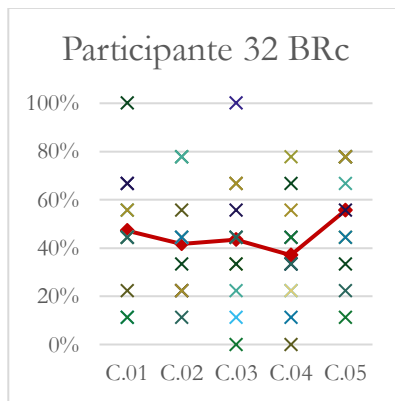
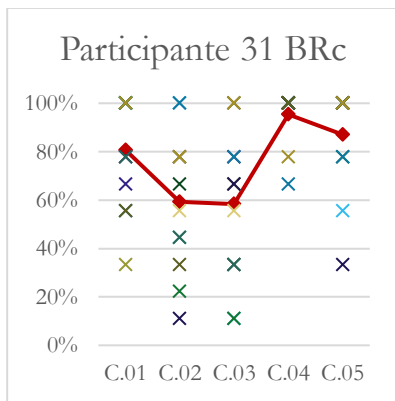
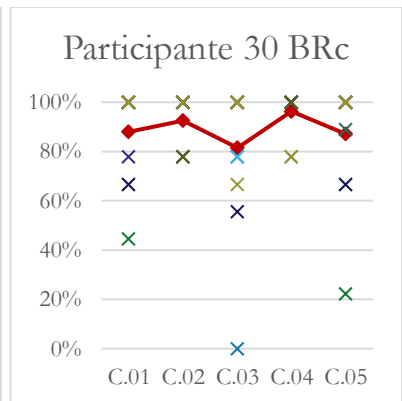
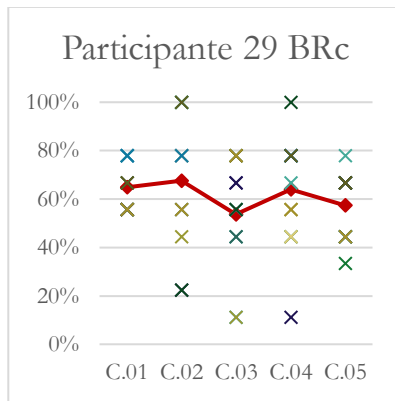
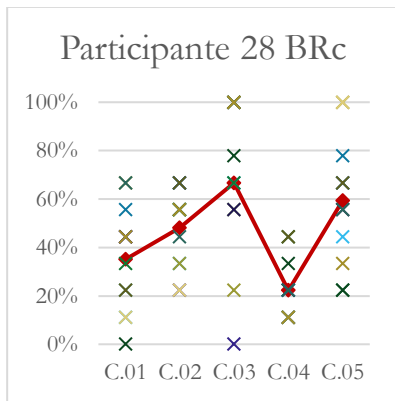
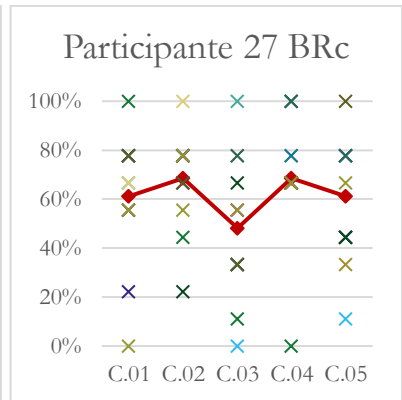
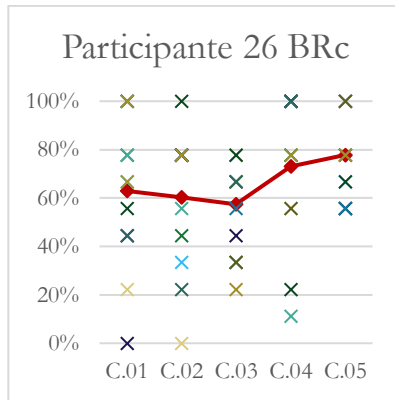
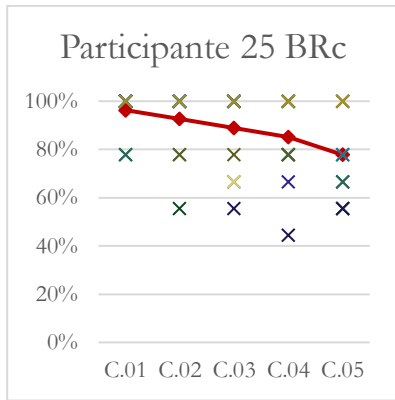
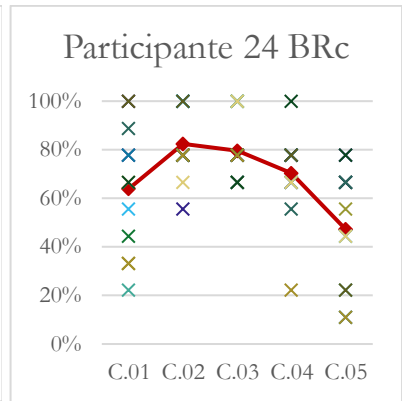
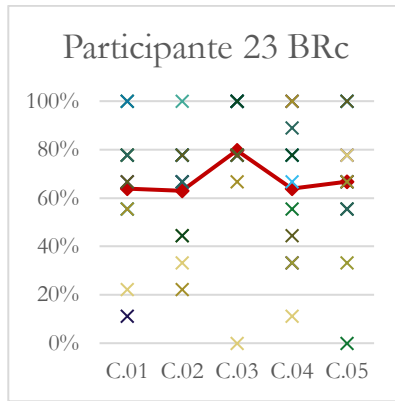
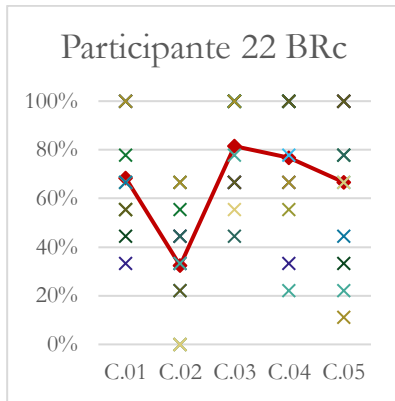
3.6.2 Avaliação dos dados brutos coletados

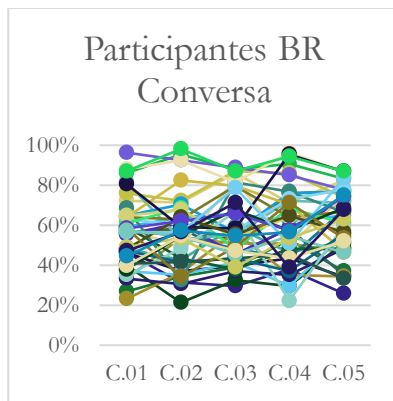
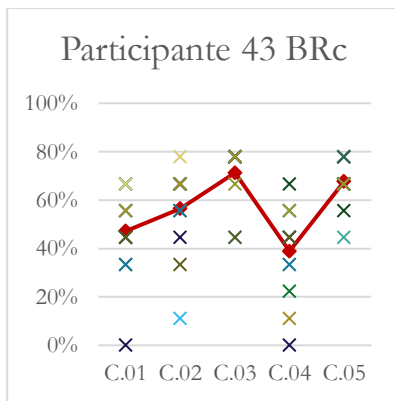
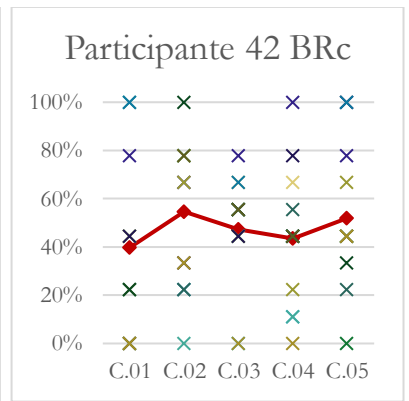
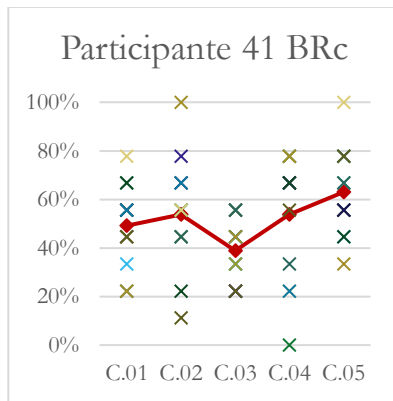
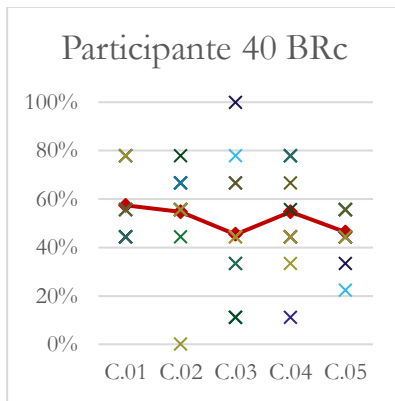
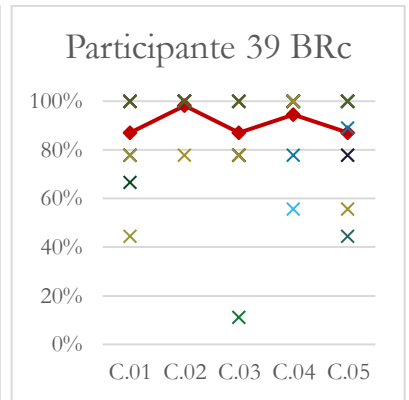
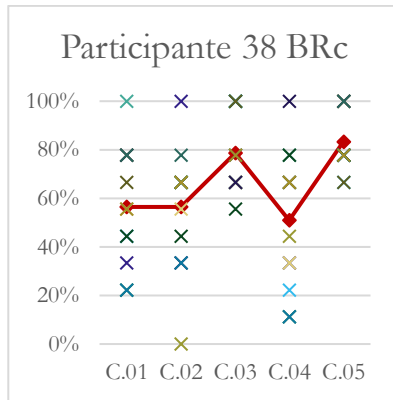
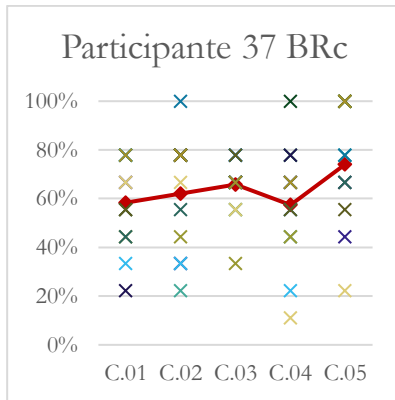
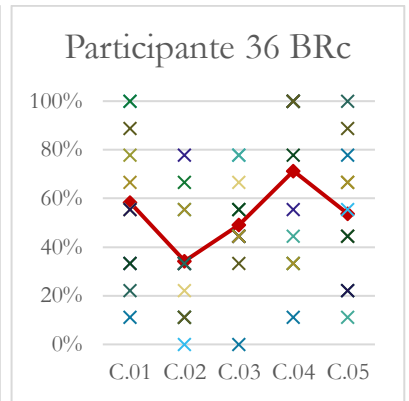
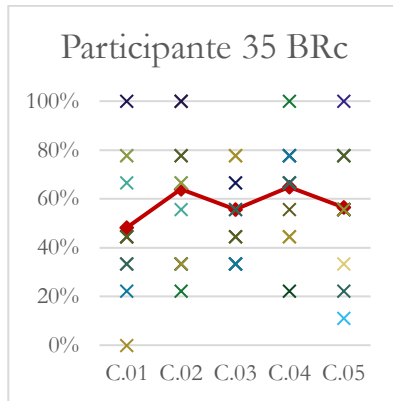
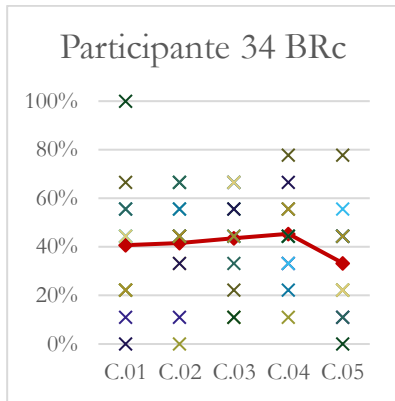
Os resultados de cada participante foram organizados em gráficos, nos quais cada X indica uma resposta das 12 repetições, sendo a média de cada condição e a correspondência entre elas disposta em uma linha vermelha. A Figura 121 mostra um compilado desses gráficos e um gráfico final com as médias de todos os participantes.

Figura 121 - Gráficos de taxas de acerto e médias por condição acústica de cada participante no Brasil sob ruído de conversa (BRc).









Os dados foram tabulados a fim de obter a quantidade de números acertada em cada uma das 12 repetições por condição acústica e a média de acertos foi calculada para cada uma delas, dispostas na Tabela 14. Esta tabela também inclui os dados com a média ajustada de acordo com o intervalo de confiança e as estatísticas média, mediana e desvio-padrão para cada condição acústica, bem como a diferença entre a média e a média ajustada em cada condição acústica.

Tabela 14 - Média e média ajustada de cada participante por condição acústica e estatísticas por condição acústica.

Participante	Condição 01		Condição 02		Condição 03		Condição 04		Condição 05	
	Média	Média ajustada	Média	Média ajustada	Média	Média ajustada	Média	Média ajustada	Média	Média ajustada
1	46,30%	46,30%	31,48%	28,28%	29,63%	29,63%	37,96%	37,96%	25,93%	25,93%
2	59,26%	64,65%	63,89%	63,89%	65,74%	65,74%	62,04%	66,67%	64,81%	64,81%
3	26,85%	20,20%	34,26%	34,26%	38,89%	38,89%	52,78%	52,78%	37,04%	37,04%
4	48,15%	50,51%	42,59%	42,59%	59,26%	59,26%	46,30%	50,51%	51,80%	51,80%
5	33,33%	33,33%	53,70%	53,70%	50,93%	50,93%	50,93%	50,93%	46,30%	46,30%
6	72,20%	72,20%	71,30%	71,30%	86,11%	86,11%	71,30%	77,78%	82,41%	82,41%
7	46,30%	50,51%	37,04%	37,04%	39,81%	39,81%	43,52%	43,52%	34,26%	34,26%
8	57,41%	61,62%	54,63%	54,63%	48,15%	48,15%	43,52%	43,52%	67,59%	67,59%
9	39,89%	34,34%	21,30%	21,30%	32,41%	26,26%	29,63%	29,63%	50,93%	50,93%
10	56,48%	56,48%	58,33%	58,33%	45,37%	45,37%	58,33%	58,33%	35,19%	35,19%
11	55,56%	55,56%	58,33%	58,33%	52,78%	52,78%	75,93%	78,79%	76,85%	82,83%
12	23,15%	23,15%	36,11%	36,11%	56,48%	56,48%	35,19%	35,19%	34,26%	34,26%
13	55,56%	55,56%	61,11%	61,11%	45,37%	45,37%	58,33%	58,33%	72,22%	72,22%
14	37,04%	37,04%	35,19%	31,31%	41,67%	41,67%	29,63%	29,63%	54,63%	58,59%
15	86,11%	90,91%	95,37%	97,98%	87,96%	92,93%	90,74%	90,74%	83,33%	88,89%
16	81,48%	81,48%	52,78%	52,78%	55,56%	59,60%	72,22%	78,79%	71,30%	71,30%
17	75,93%	75,93%	72,22%	72,22%	87,04%	87,04%	86,11%	91,22%	74,07%	74,07%
18	57,41%	62,63%	50,00%	50,00%	82,41%	88,89%	50,00%	50,00%	74,07%	74,07%
19	33,33%	33,33%	30,56%	30,56%	37,04%	37,04%	35,19%	35,19%	48,15%	48,15%
20	64,81%	64,81%	70,37%	70,37%	56,48%	56,48%	75,93%	79,80%	76,85%	79,80%
21	59,26%	59,26%	43,52%	47,47%	37,96%	37,96%	48,15%	48,15%	48,15%	48,15%
22	68,52%	68,52%	32,41%	32,41%	81,48%	81,48%	76,85%	76,85%	66,67%	66,67%
23	63,89%	63,89%	62,96%	62,96%	79,63%	89,87%	63,89%	63,89%	66,67%	72,73%
24	63,89%	63,89%	82,41%	82,41%	79,63%	79,63%	70,37%	74,75%	47,22%	47,22%
25	96,30%	100%	92,59%	95,96%	88,89%	88,89%	85,19%	88,89%	77,78%	77,78%
26	62,96%	62,96%	60,19%	65,66%	57,41%	57,41%	73,15%	73,15%	77,78%	77,78%
27	61,11%	66,67%	68,52%	72,73%	48,15%	48,15%	68,52%	74,75%	61,11%	61,11%
28	35,19%	35,19%	48,15%	48,15%	66,67%	72,73%	22,22%	22,22%	59,26%	59,26%

29	64,81%	64,81%	67,59%	67,59%	53,70%	53,70%	63,89%	68,69%	57,41%	57,41%
30	87,96%	91,92%	92,59%	92,59%	81,48%	88,89%	96,30%	100%	87,04%	92,93%
31	80,56%	84,85%	59,26%	59,26%	58,33%	58,33%	95,37%	97,98%	87,04%	91,92%
32	47,22%	42,42%	41,67%	41,67%	43,52%	38,38%	37,04%	37,04%	55,56%	55,56%
33	37,96%	37,96%	54,63%	58,59%	67,59%	73,74%	57,41%	57,41%	68,52%	68,52%
34	40,74%	35,35%	41,67%	45,45%	43,52%	43,52%	45,37%	45,37%	33,33%	33,33%
35	48,15%	48,15%	63,89%	63,89%	55,56%	55,56%	64,81%	68,69%	56,48%	56,48%
36	58,33%	58,33%	34,26%	34,26%	49,07%	53,54%	71,30%	71,30%	53,70%	53,70%
37	58,33%	58,33%	62,04%	62,04%	65,74%	68,69%	57,41%	57,41%	74,07%	78,79%
38	56,48%	56,48%	56,48%	61,62%	78,70%	78,70%	50,93%	50,93%	83,33%	83,33%
39	87,04%	90,91%	98,15%	100%	87,04%	93,94%	94,44%	97,98%	87,04%	90,91%
40	57,41%	57,41%	54,63%	59,60%	45,37%	45,37%	54,63%	58,59%	46,30%	48,48%
41	49,07%	49,07%	53,70%	53,70%	38,89%	38,89%	53,70%	53,70%	62,96%	62,96%
42	39,81%	39,81%	54,63%	54,63%	47,22%	47,22%	43,52%	43,52%	51,85%	51,85%
43	47,22%	51,52%	56,48%	60,61%	71,30%	76,67%	38,89%	38,89%	67,59%	69,70%
44	44,44%	39,39%	57,41%	57,41%	54,63%	54,63%	56,48%	61,62%	75,00%	79,80%
Média	56,21%	56,76%	56,15%	56,97%	58,65%	59,87%	58,99%	60,71%	61,68%	62,88%
Mediana	56,95%	56,95%	55,56%	58,33%	55,56%	56,02%	57,41%	58,33%	63,89%	63,89%
Desvio-padrão	17,02%	18,65%	18,04%	18,68%	17,31%	19,18%	18,87%	20,15%	16,53%	17,66%
Diferença entre médias		0,55		0,82		1,22		1,72		1,20

A partir dessas médias, um teste paramétrico do tipo ANOVA foi realizado, resultando em p-valor não significativo a 5% de 0,56 ao considerar as médias dos dados brutos. Utilizando-se a média ajustada pelo intervalo de confiança, a fim de eliminar possíveis taxas de acertos não representativas da média do participante, o p-valor encontrado foi de 0,51, também não significativo a nível de 5%. Cada uma das condições foi comparada entre si através do teste de Tukey para identificar onde havia maior diferença, ainda que não significativa, considerando as duas médias calculadas.

Embora o p-valor comparativo entre condições acústicas tenham sido elevados e considerados não significativos, pode-se observar que todas as condições são estatisticamente iguais (p-valor acima de 0,90) à exceção das condições 01 e 02 quando comparadas à condição 05, indicando que entre as condições com isolamento sonoro ruim (“RI_ruim_IS_ruim” e “RI_boa_IS_ruim”) há uma diferença maior dos resultados em comparação com a condição “RI_silêncio”, situação controle. As condições com bom isolamento sonoro e controle são as que

apresentam maior diferença entre a média e a média ajustada pelo intervalo de confiança, indicando que houve mais casos com disparidade de valores em uma ou duas repetições em relação às demais do que nas outras condições, que podem ter apresentado respostas com maior variabilidade numa mesma condição sem consistência nos resultados e, portanto, maior desvio-padrão.

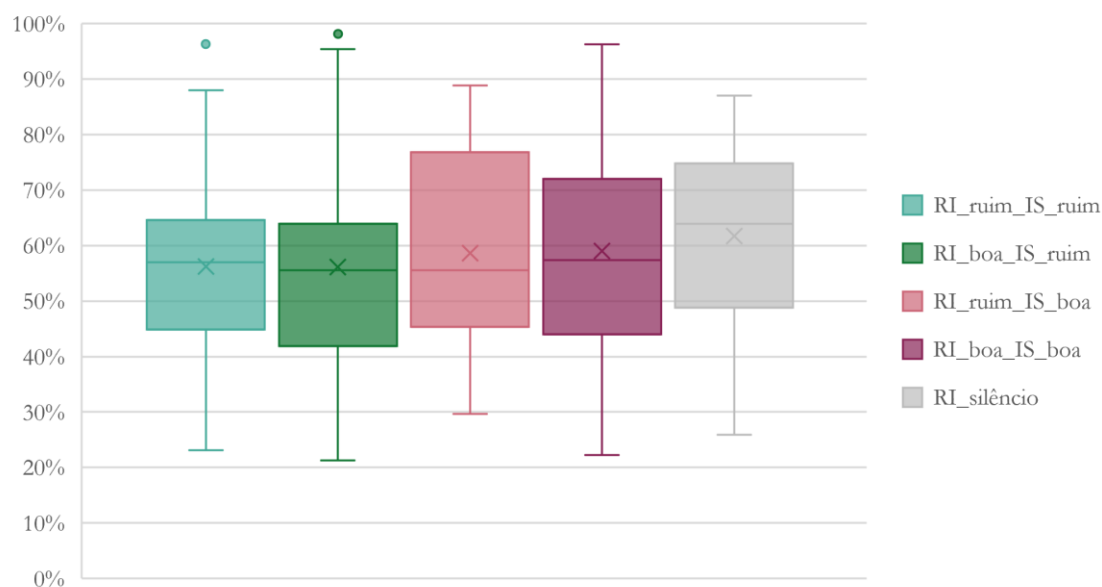
Tabela 15 - Resultados do Teste de Tukey para identificação de diferenças entre condições acústicas considerando a média e a média ajustada pelo intervalo de confiança dos dados brutos.

Comparação entre condições	p-valor Média	p-valor Média ajustada	Diferença entre p-valor
Diferença C.01-C.02	1,00	1,00	0,00
Diferença C.01-C.03	0,97	0,94	-0,03
Diferença C.01-C.04	0,95	0,86	-0,09
Diferença C.01-C.05	0,59	0,55	-0,04
Diferença C.02-C.03	0,96	0,95	-0,01
Diferença C.02-C.04	0,94	0,89	-0,05
Diferença C.02-C.05	0,58	0,58	0,00
Diferença C.03-C.04	1,00	1,00	0,00
Diferença C.03-C.05	0,93	0,95	+0,02
Diferença C.04-C.05	0,95	0,98	+0,03

Ao analisar os dados do gráfico do tipo *boxplot* apresentado na Figura 122, percebe-se que as duas condições acústicas de isolamento sonoro ruins (“RI_ruim_IS_ruim” e “RI_boa_IS_ruim”, em verde) apresentam metade dos seus valores em um intervalo semelhante entre si e mais abaixo que os resultados das outras condições acústicas. No entanto, há uma variabilidade alta entre respostas, o que faz com que a média e mediana sejam semelhantes às outras condições acústicas e resulte em p-valor não significativo. A condição “RI_silêncio”, em cinza, apresenta valores de média e mediana superiores em relação às outras condições, mas há uma semelhança no intervalo de valores que representam 50% da amostra em relação às condições de isolamento sonoro bons (“RI_ruim_IS_boa” e “RI_boa_IS_boa”). A diferença desse intervalo com as condições de isolamento ruim faz com que se encontre um p-valor mais baixo em comparação aos demais.

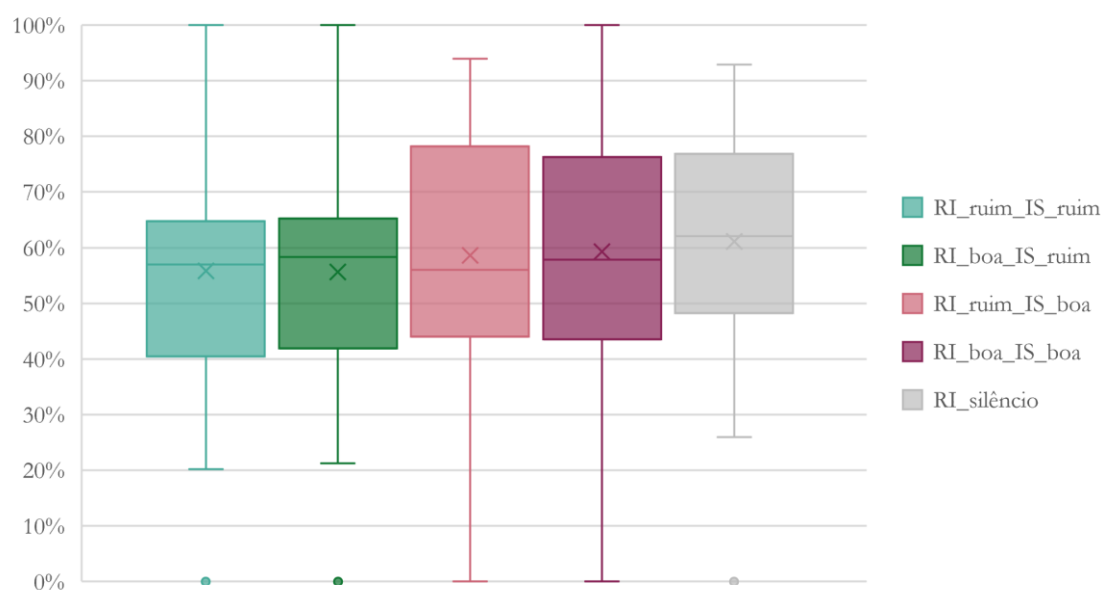
A condição que apresenta o terceiro quartil de maior valor é a “RI_ruim_IS_boa”, indicando que houve um melhor desempenho de participantes nessa condição, embora a média seja muito semelhante à condição “RI_boa_IS_boa”. Esses dados contrapõem o que é relatado por Klatt, Bergström e Lachmann (2013), em sua revisão de literatura. Os autores relatam estudos que mostraram que os resultados de desempenho cognitivo foram mais prejudicados por conversas inteligíveis do que não inteligíveis, quando comparadas ambas as situações.

Figura 122 – Gráfico *boxplot* da média de taxas de acerto analisadas a partir dos dados brutos.



Analisando os dados ajustados no gráfico da Figura 123, percebe-se que a primeira condição deixa de apresentar um *outlier*, visto que participantes com taxas de acerto alta em todas as repetições à exceção de uma com taxa de acerto baixa tiveram suas médias reajustadas, passando a aumentar a amplitude de variabilidade nessa condição.

Figura 123 – Gráfico *boxplot* da média de taxas de acerto analisadas a partir dos dados brutos considerando intervalo de confiança.



A condição “RI_boa_IS_ruim” apresentou um aumento na média e mediana, embora os quartis tenham tido pouca variação. O mesmo acontece com a condição “RI_ruim_IS_boa”. As

condições “RI_boa_IS_boa” e “RI_silêncio” apresentaram aumentos sutis na média, havendo uma variação na posição do terceiro quartil e limite máximo de ambos em relação à média não tratada.

Em ambos os gráficos, pode-se perceber que as médias das condições com isolamento ruim apresentaram maior concentração em valores abaixo de 70% de taxa de acerto, enquanto as condições com bom isolamento e condição controle apresentaram aumento de aproximadamente 10% no valor do terceiro quartil comparativamente. Embora o limite máximo das condições de isolamento ruim após ajuste da média pelo intervalo de confiança tenha atingido o valor de 100% e de 98%, respectivamente, o tamanho pequeno da caixa do *boxplot* entre o primeiro e terceiro quartis indica que as taxas de acerto mais elevadas foram exceções no grupo. Já as condições com isolamento bom apresentaram caixas do *boxplot* com maior variação entre o primeiro e terceiro quartis e valores parecidos, indicando maior variabilidade nas taxas de acertos dos grupos, bem como níveis mais altos de taxa de acerto.

3.6.3 Avaliação dos dados após eliminação de fatores de aleatoriedade de resposta

Tendo em vista que o resultado do teste é avaliado a partir da correspondência entre o número mostrado na tela para o participante e o número selecionado por ele na mesma posição de exibição, há margem para acertos aleatórios e não memorizados pelo participante. Desta forma, as taxas de acertos foram reavaliadas substituindo-se a taxa de acerto por 0% quando pelo menos um dos dois primeiros números da ordem não fosse acertado, desde que a taxa de acerto não fosse superior a 77% (que indica a troca de apenas dois números entre si na ordem completa).

As médias foram recalculadas e reajustadas de acordo com novos valores por participante, mostrados na Tabela 16, juntamente com as médias e médias ajustadas pelo intervalo de confiança em cada uma das condições acústicas.

Tabela 16 - Média e média ajustada de cada participante por condição acústica e estatísticas por condição acústica após eliminação de fatores de aleatoriedade.

Participante	Condição 01		Condição 02		Condição 03		Condição 04		Condição 05	
	Média	Média ajustada	Média	Média ajustada	Média	Média ajustada	Média	Média ajustada	Média	Média ajustada
1	38,89%	38,89%	17,59%	13,13%	22,22%	22,22%	31,48%	31,48%	14,81%	14,81%
2	59,26%	64,65%	63,89%	63,89%	57,41%	68,89%	62,04%	66,67%	62,04%	62,04%
3	19,44%	12,12%	25,93%	25,93%	21,30%	21,30%	50,93%	50,93%	29,63%	29,63%
4	42,59%	42,59%	35,19%	35,19%	59,26%	59,26%	38,89%	38,89%	43,52%	43,52%
5	29,63%	29,63%	40,74%	40,74%	39,81%	39,81%	37,96%	37,96%	35,19%	35,19%
6	70,37%	70,37%	67,59%	67,59%	86,11%	86,11%	65,74%	65,74%	75,00%	75,00%
7	44,44%	44,44%	36,11%	36,11%	28,70%	28,70%	36,11%	36,11%	32,41%	32,41%

8	51,85%	51,85%	50,00%	54,55%	38,89%	38,89%	37,04%	37,04%	64,81%	70,71%
9	34,26%	34,26%	15,74%	15,74%	14,81%	7,07%	21,30%	21,30%	48,15%	48,15%
10	49,07%	49,07%	50,93%	50,93%	26,85%	20,20%	48,15%	48,15%	14,81%	9,09%
11	43,52%	43,52%	50,00%	50,00%	35,19%	35,19%	72,22%	78,79%	75,93%	82,83%
12	14,81%	10,10%	29,63%	29,63%	46,30%	46,30%	26,85%	26,85%	20,37%	20,37%
13	40,74%	40,74%	51,85%	51,85%	37,04%	37,04%	51,85%	51,85%	63,89%	63,89%
14	27,78%	27,78%	27,78%	27,78%	29,63%	29,63%	23,15%	23,15%	44,44%	44,44%
15	83,33%	90,91%	89,81%	97,98%	87,96%	92,93%	90,74%	90,74%	81,48%	88,89%
16	76,85%	83,84%	50,93%	50,93%	50,93%	50,93%	70,37%	70,37%	62,96%	62,96%
17	73,15%	79,80%	66,67%	66,67%	82,41%	89,90%	84,26%	91,22%	72,22%	78,79%
18	53,70%	53,70%	43,52%	43,52%	81,48%	88,89%	41,67%	41,67%	71,30%	77,78%
19	28,70%	28,70%	21,30%	21,30%	27,78%	27,78%	25,93%	25,93%	45,37%	49,49%
20	60,19%	60,19%	59,26%	59,26%	52,78%	52,78%	75,93%	79,80%	76,85%	79,80%
21	55,56%	60,61%	25,93%	25,93%	36,11%	36,11%	33,33%	33,33%	46,30%	55,56%
22	68,52%	68,52%	20,37%	20,37%	81,48%	81,48%	69,44%	69,44%	62,96%	62,96%
23	58,33%	58,33%	61,11%	66,67%	79,63%	89,87%	59,26%	59,26%	59,26%	59,26%
24	56,48%	56,48%	82,41%	82,41%	79,63%	79,63%	68,52%	74,75%	39,81%	39,81%
25	96,30%	100%	92,59%	95,96%	84,26%	91,92%	85,19%	88,89%	63,89%	63,89%
26	57,41%	57,41%	58,33%	58,33%	48,15%	48,15%	70,37%	70,37%	77,78%	77,78%
27	54,63%	54,63%	66,67%	72,73%	44,44%	44,44%	68,52%	74,75%	52,78%	52,78%
28	31,48%	31,48%	43,52%	43,52%	66,67%	72,73%	15,74%	15,74%	52,78%	52,78%
29	55,56%	66,67%	63,89%	63,89%	51,85%	51,85%	62,96%	68,69%	45,37%	45,37%
30	87,96%	91,92%	92,59%	92,59%	81,48%	88,89%	96,30%	100%	85,19%	92,93%
31	73,15%	73,15%	52,78%	52,78%	48,15%	48,15%	95,37%	97,98%	84,26%	91,92%
32	25,93%	19,19%	31,48%	31,48%	26,85%	20,20%	19,44%	19,44%	52,78%	52,78%
33	25,93%	25,93%	43,52%	43,52%	63,89%	63,89%	47,22%	47,22%	59,26%	59,26%
34	37,96%	32,32%	29,63%	29,63%	39,81%	39,81%	28,70%	28,70%	25,93%	25,93%
35	42,59%	42,59%	51,85%	51,85%	55,56%	55,56%	50,93%	50,93%	50,93%	50,93%
36	48,15%	48,15%	26,85%	26,85%	49,07%	53,54%	64,81%	64,81%	50,93%	50,93%
37	50,00%	50,00%	56,48%	56,48%	58,33%	70,00%	56,48%	56,48%	63,89%	63,89%
38	52,78%	52,78%	56,48%	61,62%	74,07%	80,81%	44,44%	44,44%	83,33%	83,33%
39	76,85%	92,22%	98,15%	100%	87,04%	93,94%	94,44%	97,98%	82,41%	89,90%
40	44,44%	44,44%	41,67%	41,67%	33,33%	33,33%	47,22%	47,22%	21,30%	21,30%
41	44,44%	44,44%	50,93%	50,93%	31,48%	31,48%	51,85%	51,85%	58,33%	63,64%
42	32,41%	32,41%	51,85%	51,85%	41,67%	41,67%	41,67%	41,67%	48,15%	48,15%
43	38,89%	42,42%	55,56%	60,61%	67,59%	73,74%	34,26%	34,26%	63,89%	69,70%
44	44,44%	39,39%	57,41%	57,41%	51,85%	51,85%	50,93%	50,93%	73,15%	79,80%

Média	50,06%	50,97%	50,15%	50,95%	52,48%	54,25%	53,41%	54,63%	55,45%	57,37%
Mediana	48,61%	48,61%	50,93%	51,39%	50,00%	51,39%	50,93%	50,93%	58,80%	59,26%
Desvio-padrão	18,54%	21,39%	20,62%	21,75%	21,21%	24,34%	21,90%	23,29%	19,42%	21,52%
Diferença entre médias	0,91		0,80		1,77		1,22		1,92	

A última linha da Tabela 16 contém a diferença entre essas as médias e médias ajustadas por condição acústica a fim de identificar qual delas teve maior influência do intervalo de confiança. Enquanto as médias das condições acústicas com isolamento ruim sofreram um aumento de menos de 1% ao serem ajustadas de acordo com o intervalo de confiança, as médias das condições acústicas com isolamento bom tiveram aumento maior que 1%. Pode-se inferir que nessas condições houve mais casos em que os participantes tiveram uma menor taxa de acerto em apenas uma das repetições nessas condições acústicas, fazendo com que sua média aumentasse ao considerar somente as respostas que estavam dentro de uma variabilidade limitada pelos valores de desvio-padrão.

O intervalo de confiança de cada condição acústica por participante é determinado pelos próprios valores de taxas de acerto por repetição, quando há uma maior variabilidade do resultado por repetição a tendência é que todos os valores sejam inclusos no intervalo de confiança e que a média não se altere. Quando há uma maior consistência nas respostas e uma ou outra resposta muito divergente, a média é fortemente influenciada em função dos extremos. Portanto, pode-se concluir que os participantes performaram de modo mais consistente em condições com isolamento sonoro bom, visto que a média ajustada teve maior diferença em relação à média nessas condições.

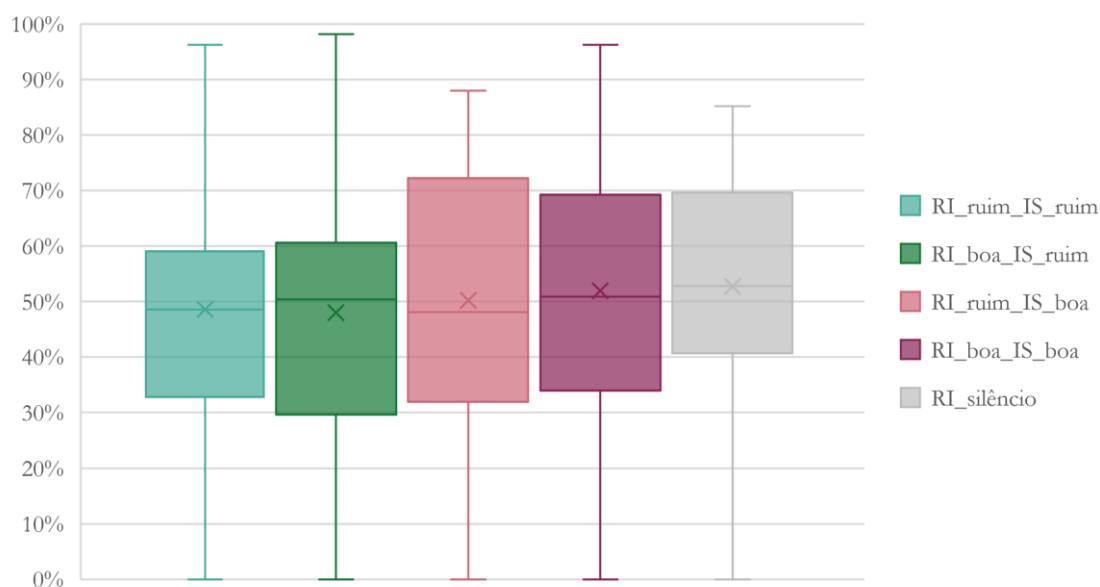
O p-valor encontrado através de ANOVA foi de 0,70 ao considerar a média tratada apenas para a eliminação de fatores de aleatoriedade. Após recalculas as médias ajustando-as ao intervalo de confiança, o p-valor encontrado foi de 0,63. Ambos não são significativos a 5% e repetem a tendência anterior, apresentando p-valor mais baixo nas comparações entre as condições 1 e 2 com a condição 5 ao analisar os resultados do teste de Tukey.

Tabela 17 - Resultados do Teste de Tukey para identificação de diferenças entre condições acústicas considerando a média e a média ajustada pelo intervalo de confiança dos dados sem fatores de aleatoriedade.

Comparação entre condições	p-valor Média	p-valor Média ajustada	Diferença entre p-valor
Diferença C.01-C.02	1,00	1,00	0,00
Diferença C.01-C.03	0,98	0,96	-0,02
Diferença C.01-C.04	0,94	0,94	0,00
Diferença C.01-C.05	0,73	0,67	-0,06
Diferença C.02-C.03	0,98	0,96	-0,02
Diferença C.02-C.04	0,94	0,94	0,00
Diferença C.02-C.05	0,74	0,67	-0,07
Diferença C.03-C.04	1,00	1,00	0,00
Diferença C.03-C.05	0,96	0,97	+0,01
Diferença C.04-C.05	0,99	0,98	-0,01

Embora as médias entre condições acústicas permaneçam próximas entre si, a exclusão de fatores de aleatoriedade altera o formato e posição da caixa do *boxplot* em todas as condições, o que pode ser observado na Figura 124, sendo a condição “RI_silêncio” a menos influenciada e a condição “RI_ruim_IS_boa” a mais alterada. A primeira condição, “RI_ruim_IS_ruim”, sofre um deslocamento da caixa do *boxplot* para baixo, embora sofra pouca alteração na variabilidade dos valores. As condições “RI_boa_IS_ruim” e “RI_ruim_IS_boa” sofreram um aumento na variabilidade, havendo um maior distanciamento entre o primeiro e terceiro quartis. Já a condição “RI_boa_IS_boa” teve um aumento do intervalo entre os quartis, mas com menor expressividade.

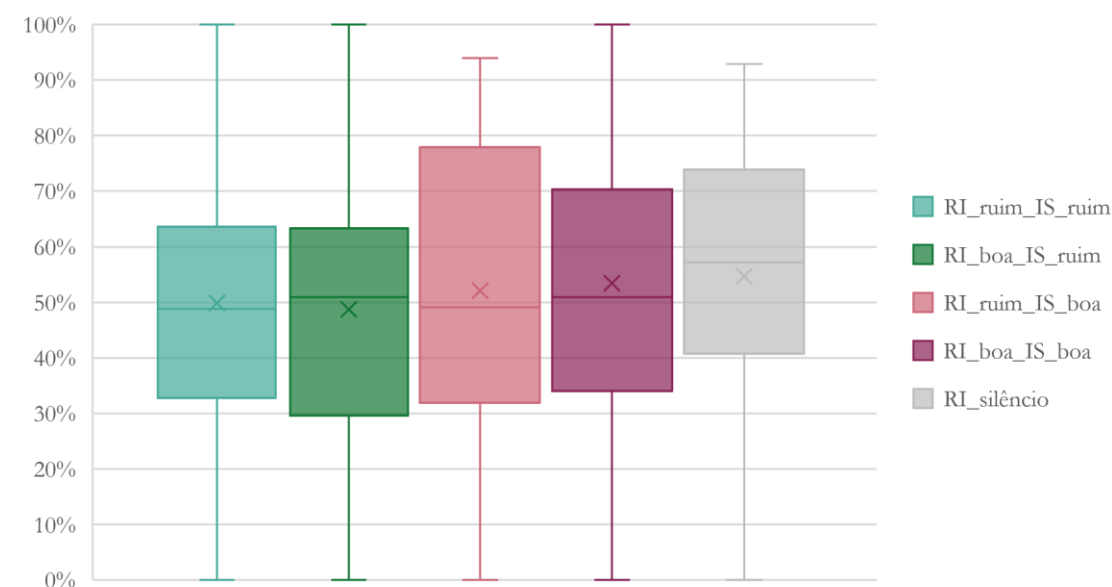
Figura 124 – Gráfico *boxplot* da média de taxas de acerto analisadas desconsiderando dados aleatórios.



Ao comparar com os dados brutos, percebe-se que os valores mínimos em todas as condições se mantiveram muito semelhantes, enquanto os valores mínimos nas médias não tratadas apresentaram maior variação, com menor valor na condição “RI_boa_IS_ruim”.

Considerando as médias recalculadas somente com valores que estejam no intervalo de confiança, a variabilidade dos percentuais de acerto também aumenta em todas as condições, conforme gráfico da Figura 125, ao comparar-se este gráfico com o da Figura 123, que mostra os resultados calculados com dados brutos. Aquelas com isolamento sonoro ruim se apresentam de modo semelhante no gráfico, enquanto as condições de isolamento sonoro bom sofrem maior alteração, principalmente a condição “RI_ruim_IS_boa”. Nesta condição há um aumento de variabilidade mais expressivo, principalmente entre o primeiro e o terceiro quartis, resultante de um deslocamento em 10% para baixo do primeiro quartil. Essa diminuição do valor do referido quartil indica que repetições que antes tinham atingido percentuais maiores de taxa de acerto foram substituídas por 0% por apresentar fatores de aleatoriedade, ocasionando uma diminuição na média. Ainda assim, a substituição dessas taxas de acerto por 0% ainda não foi suficiente para retirar tais valores do intervalo de confiança, indicando alta variabilidade nas taxas de acerto desta condição acústica por alguns participantes.

Figura 125 – Gráfico *boxplot* da média de taxas de acerto analisadas desconsiderando dados aleatórios e considerando intervalo de confiança.



O estudo de Dockrell e Shield (2006) avaliou o desempenho de crianças sob ruído de conversa, dentre outros, e concluiu que em alguns casos os resultados são inconsistentes, visto que

em testes de leitura e soletração, as crianças tiveram melhores resultados quando expostas a ruídos de conversa e tiveram maiores taxas de erro em situação silenciosa.

3.6.4 Resultados dos questionários

A fim de comparar os resultados objetivos do teste com a percepção dos participantes, um questionário era respondido após cada bloco de condição acústica. Na primeira questão, que intencionava saber se os participantes achavam a sala barulhenta, as respostas “extremamente” e “muito” foram mais expressivas nas condições com isolamento ruim, aparecendo a primeira opção de resposta apenas nessas condições (Figura 126). Nas condições acústicas com isolamento sonoro bom, houve predominância da resposta “muito pouco”, principalmente na condição combinada com condicionamento acústico bom.

Conforme o gráfico da Figura 127, a percepção de reverberação dos participantes se mostrou muito mais associada ao isolamento acústico, visto que a maioria das respostas indicam percepção de reverberação moderada e muita nas condições de isolamento sonoro ruim, enquanto as condições com isolamento sonoro bom tiveram mais respostas de percepção de muita pouca reverberação. Por se tratar de condições cujo nível sonoro é menos intenso, a percepção da reverberação pode ter sido influenciada pelo nível. Ademais, a maioria dos participantes desta rodada do experimento era leigo no tema acústica, o que pode ter influenciado as respostas, ainda que o conceito e exemplos tenham sido dados aos participantes durante a explicação do experimento.

Figura 126 - Gráfico das respostas à "Questão 01 – Esta sala de aula soa barulhenta para você?"

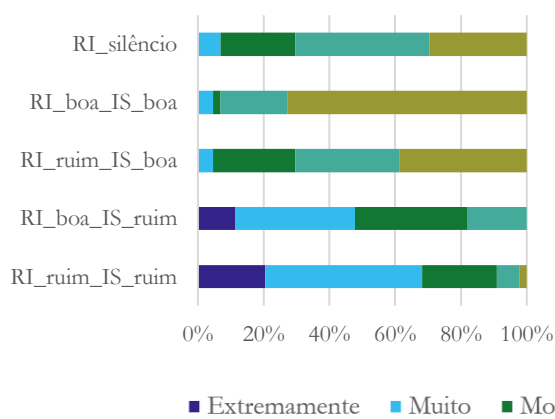
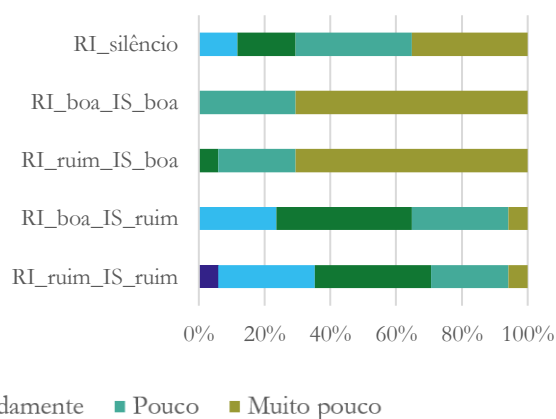


Figura 127 - Gráfico das respostas à "Questão 02 – Quanto reverberante é essa sala de aula para você?"



O gráfico da Figura 128 corrobora com essa hipótese, visto que resposta em todos os níveis foram dadas na condição acústica “RI_boa_IS_boa”, que os participantes haviam julgado na questão anterior como uma sala com pouca ou muito pouca reverberação. Ainda que a maior parte

das respostas tenha sido na opção “muito pouco”, as outras respostas indicam uma certa incoerência em comparação às respostas da questão anterior. Algo semelhante acontece na condição “RI_ruim_IS_boa”, que possui respostas na alternativa “muito”, enquanto os participantes indicaram perceber a reverberação como sendo “moderada”, “pouca” ou “muito pouca” na questão anterior.

Figura 128 - Gráfico das respostas à "Questão 03 – Como você percebe a duração do tempo de reverberação nessa sala de aula?"

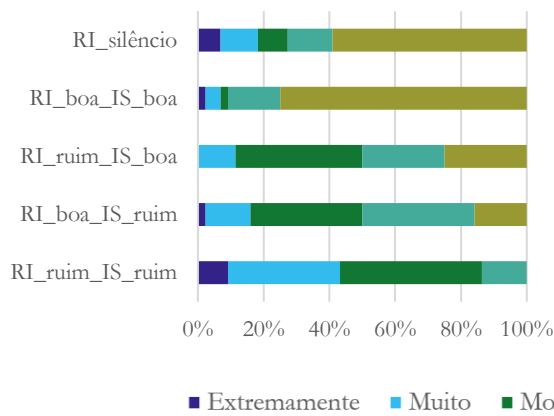
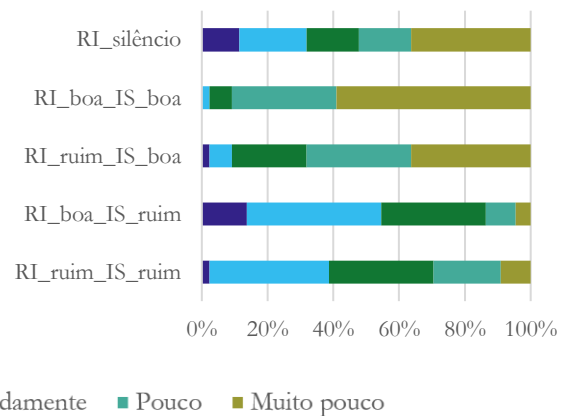


Figura 129 - Gráfico das respostas à "Questão 04 – Quão claro o ruído de fundo soa para você?"



A quarta questão perguntava sobre o quão claro o ruído de fundo soava para o participante, buscando saber se o participante entendia com clareza ou não o ruído em cada condição acústica. Novamente, as respostas demonstram maior influência do nível sonoro, visto que as condições “RI_ruim_IS_ruim” e “RI_boa_IS_ruim” apresentaram maioria das respostas nas alternativas “muito” e “moderadamente”, enquanto as condições “RI_ruim_IS_boa” e “RI_boa_IS_boa” tiveram mais respostas nas alternativas “pouco” e “muito pouco”. Infere-se que o entendimento de clareza do ruído de fundo para os participantes foi associado ao volume mais elevado em vez de boa definição do ruído escutado.

Para a quinta questão, sobre irritabilidade durante o teste, os participantes relataram se sentir mais irritados nas condições com isolamento ruim, conforme gráfico da Figura 130. Enquanto isso, as condições com bom isolamento apresentaram respostas predominantes em “pouco” e “muito pouco”, independente da qualidade da resposta impulsiva. No entanto, para a questão 06, que intencionava medir quão concentrado o participante precisou ficar durante o teste, os resultados indicam que os participantes precisaram dispendir de níveis mais elevados de concentração em todas as condições, conforme gráfico da Figura 131. A alternativa “extremamente” apareceu em todas as condições, sendo mais expressiva nas condições de isolamento acústico ruim. Menos de 10% dos participantes responderam “muito pouco” para a

condição “RI_boa_IS_boa” e “RI_silêncio”, indicando que embora alguns participantes tenham precisado se manter muito pouco concentrado nessas condições, há baixa representatividade dessas respostas.

Figura 130 - Gráfico das respostas à "Questão 05 – Quão irritado(a) você se sentiu nessa sala de aula?"

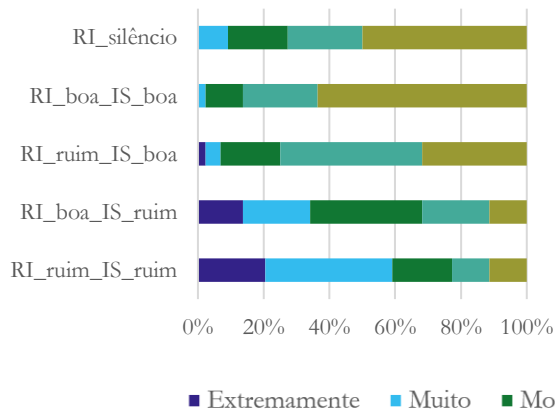
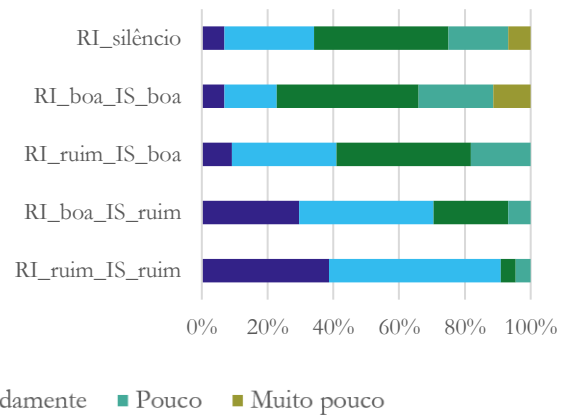


Figura 131 - Gráfico das respostas à "Questão 06 – Quão concentrado(a) você precisou ficar para finalizar o teste nessa sala de aula?"



As respostas à questão 07, cuja intenção era saber quão difícil foi o teste sob aquela condição acústica, teve predominância da resposta “muito” para a condição “RI_ruim_IS_ruim”, embora todas as alternativas tenham sido respondidas por pelo menos um participante, como visto no gráfico da Figura 132.

Figura 132 - Gráfico das respostas à "Questão 07 – Quão difícil foi o teste nessa sala de aula?"

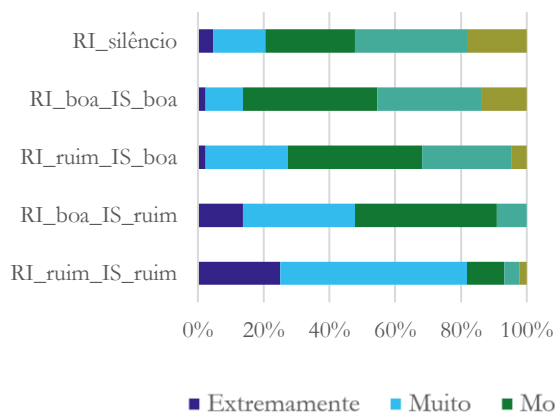
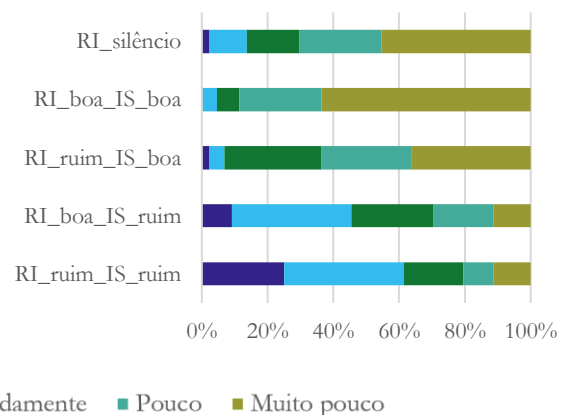


Figura 133 - Gráfico das respostas à "Questão 08 – Quão perturbador foi o ruído de fundo nessa sala de aula para você?"



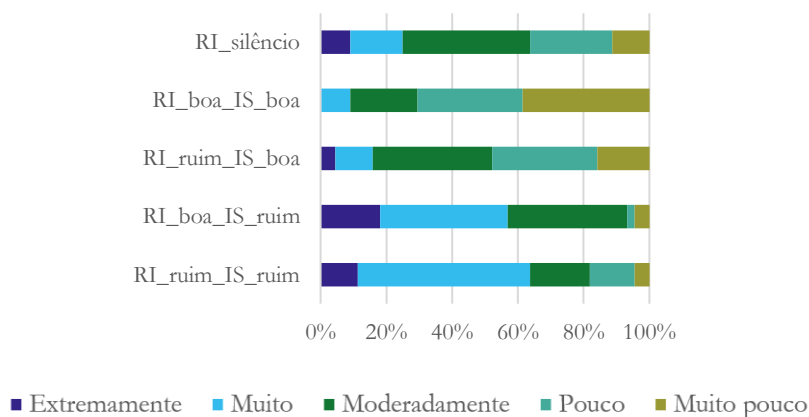
Todas as outras condições também receberam respostas em todas as alternativas, à exceção da condição “RI_boa_IS_ruim”. Esta condição teve predominância de respostas nas alternativas “muito” e “moderadamente”. Após o teste, vários participantes relataram ter tido

dificuldade na condição cujo volume era mais intenso e que algumas palavras eram facilmente entendidas, sugerindo que a maior dificuldade havia sido na condição “RI_boa_IS_ruim”.

Já as respostas à oitava questão, mostradas no gráfico da Figura 133, indicam que os participantes se sentiram mais perturbados pelas condições com isolamento sonoro ruim, ainda que cerca de 20% dos participantes tenham se sentido “pouco” ou “muito pouco” perturbado na condição sonora “RI_ruim_IS_ruim” e o mesmo aconteça para quase 30% dos participantes na condição “RI_boa_IS_ruim”. Pode-se inferir que alguns participantes não se sintam incomodado pelo nível de ruído ou pelo teor desse. Alguns participantes relataram trabalhar ou estudar sob ruído de conversa, não se incomodando pelo hábito de já exercer atividades sob tal influência. Para as condições de isolamento sonoro bom, a combinação com resposta impulsiva ruim perturbou mais do que a combinação com resposta impulsiva boa, que apresentou mais de 60% das respostas como “muito pouco”. A condição “RI_silêncio” apresentou resposta em todas as alternativas e foi a mais comentada pelos participantes ao final do teste, sendo relatada como perturbadora por uns e relaxante por outros.

A última questão buscava saber quanto esforço o participante precisou fazer para realizar a tarefa naquela condição. As respostas foram dispostas no gráfico da Figura 134.

Figura 134 - Gráfico das respostas à "Questão 09 – Quanto esforço você precisou fazer para realizar a tarefa nessa condição?"



Embora o esforço para realizar a tarefa possa ser relacionado com o grau de dificuldade dessa, a condição que apresentou respostas mais semelhantes nas duas questões foi a “RI_ruim_IS_ruim”, em que a predominância da resposta foi na alternativa “muito”. Na condição “RI_boa_IS_ruim” alguns participantes responderam ter feito “muito pouco” esforço, embora essa alternativa de resposta não tenha aparecido na questão 7, sobre o grau de dificuldade. Para a condição “RI_boa_IS_boa”, 18 participantes responderam que o teste sob aquela condição foi

moderadamente difícil, enquanto 17 deles responderam que realizaram “muito pouco” esforço para tal. A condição “RI_ruim_IS_boa” apresenta maior correspondência entre respostas nas duas questões.

3.7 Comparação entre testes com ruído de tráfego e ruído de conversa

A fim de comparar a influência do tipo de ruído no desempenho cognitivo dos participantes por condição acústica, a comparação dos participantes brasileiros que realizaram o experimento em cada uma das rodadas de teste foi verificada através de testes estatísticos do tipo teste t-student. Os resultados do teste com ruído de tráfego consideram apenas os participantes brasileiros para eliminar qualquer possível influência cultural e de hábitos, mantendo a correspondência entre participantes e costumes.

3.7.1 Resultados dos testes pareados (realizados pelos mesmos participantes)

Dentre os 17 participantes que realizaram o teste com ruído de tráfego, sete deles repetiram o teste com ruído de conversa. Esses participantes foram comparados especificamente como um grupo separado através de um teste t-student pareado. Para o grupo, o teste indicou que o p-valor não foi significativo a nível de 5% em nenhuma das condições acústicas, como pode ser observado na Tabela 18. Considerando-se um nível de significância a 10%, visto que a população do teste é pequena, pode-se dizer que houve uma diferença significativa na condição 04 (“RI_boa_IS_boa”) e extrapolar para a condição 03 (“RI_ruim_IS_boa”).

Tabela 18 - Resultado do teste t-student para comparação pareada entre testes com diferentes ruídos.

Condição comparada	p-valor
Condição 01	0,24
Condição 02	0,25
Condição 03	0,12
Condição 04	0,10

Ao analisar individualmente cada participante, cujas médias por condição em cada um dos tipos de ruído estão dispostas nos gráficos da Figura 135 até Figura 141 (a letra “a” após a numeração foi adicionada visto que a numeração não corresponde exatamente às numerações apresentadas nos gráficos individuais anteriores), pode-se perceber que, à exceção do Participante 06a (Figura 140), todos os participantes obtiveram melhores resultados no teste com ruído de conversa em pelo menos três das quatro condições. O único participante cuja tendência de comportamento das respostas entre condições apresenta-se discrepante é o Participante 05a. Para esse participante, as condições acústicas com o ruído de conversa apresentaram resultados

com diferenças mais sutis, enquanto o ruído de tráfego teve maior variação das taxas de acerto entre condições acústicas. A discrepância dos resultados da condição “RI_boa_IS_boa” em ambos os testes para este participante foi um fator de influência para um p-valor mais baixo.

Visto que ruídos que tem maior característica de alternância de modulação e flutuação apresentam, normalmente, uma interferência maior na memória de curto prazo (KLATTE; LACHMANN; MEIS, 2010), há uma hipótese de que o fato de já conhecer o tipo de teste ao realizar o experimento sob ruído de conversa levou esses participantes a conseguirem melhores resultados.

Figura 135 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 01a em ambos os testes.

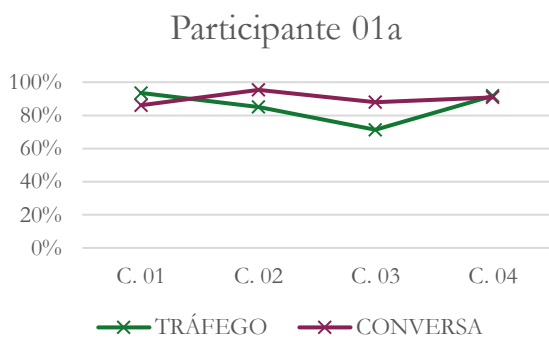


Figura 136 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 02a em ambos os testes.

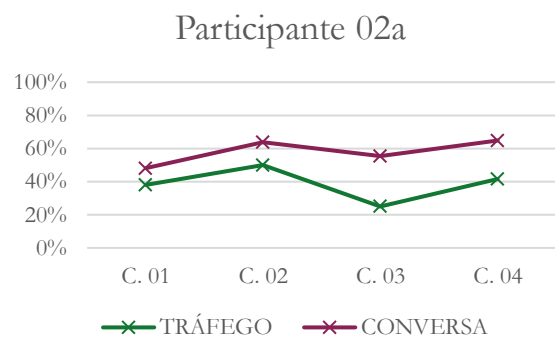


Figura 137 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 03a em ambos os testes.

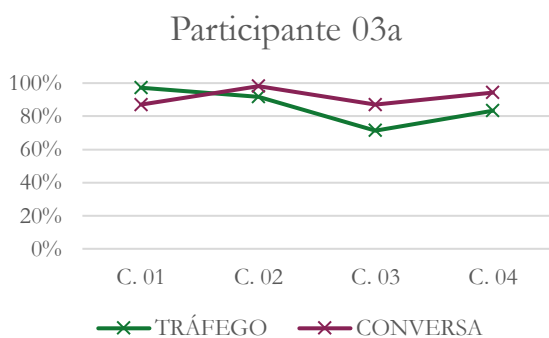


Figura 138 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 04a em ambos os testes.

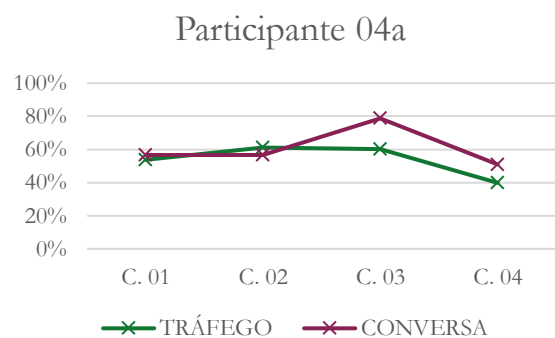


Figura 139 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 05a em ambos os testes.

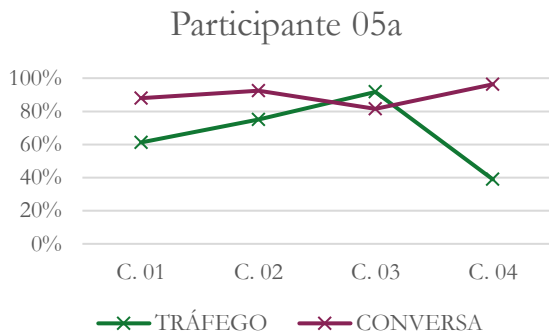


Figura 140 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 06a em ambos os testes.

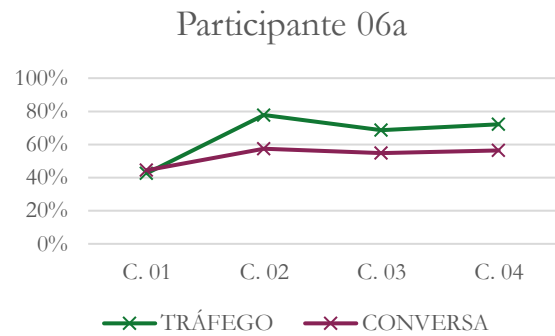
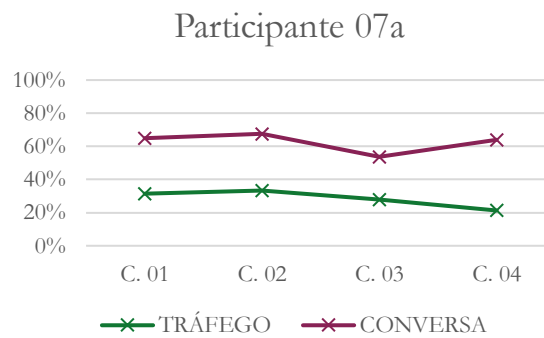


Figura 141 - Gráfico comparativo entre médias do Participante 07a em ambos os testes.



3.7.2 Resultados dos testes com diferentes ruídos

Visto que sete participantes realizaram ambos os testes, os dados desses participantes foram retirados da análise estatística, realizada também através do teste t-student. Esse teste foi realizado considerando a média e a média ajustada pelo intervalo de confiança. Os valores resultantes do teste estão dispostos na Tabela 19. A nível de 5%, apenas a condição acústica 02 (“RI_boa_IS_ruim”) apresentou p-valor significativo, indicando que nesta condição o desempenho dos participantes foi fortemente influenciado pelo tipo de ruído.

Tabela 19 - Resultado do teste t-student para comparação não pareada entre testes com diferentes ruídos.

Condição comparada	p-valor Média	p-valor Média ajustada
Condição 01	0,11	0,11
Condição 02	0,04	0,05
Condição 03	0,92	0,97
Condição 04	0,13	0,24

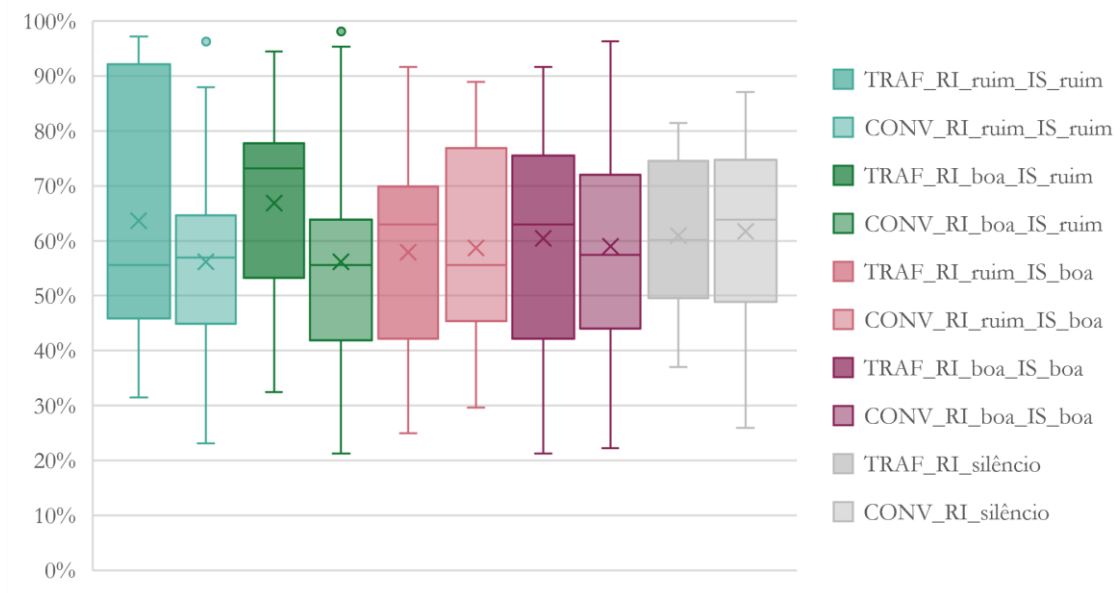
A condição 01 (“RI_ruim_IS_ruim”) apresentou o menor p-valor após a condição 02, sem variação referente ao ajuste das médias. A condição 04, no entanto, apresentou p-valor de 0,13 ao

analisar as médias sem ajustes, aumentando para 0,24 após ajustes da média pelo intervalo de confiança. Isso indica que ao ajustar as médias, desconsiderando respostas discrepantes fora do intervalo de confiança, a semelhança das respostas entre os dois tipos de ruído nessa mesma condição acústica foi maior.

A condição 03 (“RI_ruim_IS_boa”) foi a que apresentou maior p-valor em ambas as médias, indicando que nesta condição as respostas entre os grupos foram semelhantes estatisticamente.

Para a análise dos gráficos em *boxplot* todos os participantes foram considerados, inclusive aqueles que realizaram ambos os testes. Ao analisar o gráfico da Figura 142, percebe-se que o ruído de tráfego influencia menos o desempenho cognitivo entre participantes, visto que as taxas de acertos nas condições com isolamento ruim são mais altas em comparação às respostas quando submetidos ao ruído de conversa. Klatte, Bergström e Lachmann (2013) relatam que o ruído de tráfego costuma não apresentar características típicas de ruídos distratores, visto que não costuma provocar processos semânticos no entendimento e podem não apresentar efeitos de saliências, sendo previsíveis e fáceis de se acostumar.

Figura 142 - Gráfico *boxplot* da média de taxas de acerto analisadas a partir dos dados brutos.



Na condição “RI_ruim_IS_ruim”, há uma concentração dos resultados em um intervalo menor quando os participantes são expostos ao ruído de conversa em comparação do ruído de

tráfego. No entanto, a mediana é semelhante, indicando que metade dos participantes em cada um desses testes obteve resultado similar (abaixo de aproximadamente 55%).

Quando há mudança na resposta impulsiva, condição “RI_boa_IS_ruim”, a mediana varia de modo mais expressivo, sendo aproximadamente 73% no teste que usa ruído de tráfego e 55% naquele com ruído de conversa. Em função da mediana elevada desta condição no ruído de tráfego, há também uma diferença relevante ao comparar-se com a primeira condição sob o mesmo tipo de ruído. Comparando as duas condições de isolamento ruim sob ruído de conversa, a mediana é considerada igual. Em ambas as condições, percebe-se que os participantes tiveram respostas mais semelhantes entre si quando submetidos à ruído de conversa e que estas foram, de modo geral, mais baixas que o teste realizado com ruído de tráfego, indicando que esse tipo de ruído atrapalha mais o desempenho cognitivo dos usuários em sala de aula. Essas também são as únicas condições em que aparecem *outliers* no gráfico, sendo ambos em taxas de acerto mais elevadas.

As condições de isolamento bom, “RI_ruim_IS_boa” e “RI_boa_IS_boa”, têm resultado mais semelhante entre si ao analisar o tamanho da caixa do *boxplot* entre quartis e a média das respostas. Ao comparar a mesma condição sob ruídos diferentes, a mediana apresenta uma variação relevante nas duas condições, sendo a mediana do ruído de conversa mais baixa em ambos os casos. No entanto, esses valores são muito similares ao avaliar o mesmo tipo de ruído, indicando uma tendência parecida nas respostas sob mesmo ruído e isolamento sonoro.

A condição “RI_ruim_IS_boa” do ruído de conversa apresenta o maior valor no terceiro quartil dentre as condições com isolamento bom. Esse resultado condiz com o relato de participantes sobre se incomodarem menos quando a conversa não era inteligível.

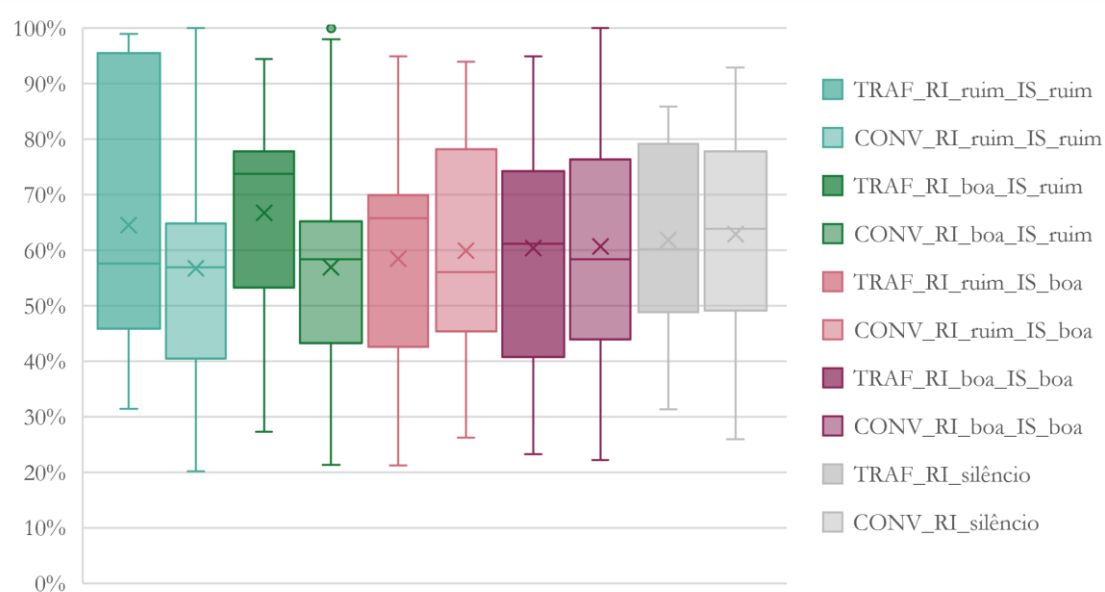
As condições “RI_boa_IS_boa” nos dois tipos de ruídos são as que apresentam maior variabilidade, indicando que as pessoas tanto se concentram mais quanto se distraem mais, depende de cada participante. Esses resultados são coerentes com os relatos de alguns participantes que a condição mais silenciosa era a mais distrativa e de outros, que consideraram essa como a condição mais relaxante. Como esperado, a condição silêncio tem comportamento semelhante entre os dois grupos. O estudo de Klatte, Lachmann e Meis (2010) indica que não há percepção clara das diferenças de tempo de reverberação em situações mais silenciosas, o que corrobora com a percepção dos participantes.

Essa análise também foi realizada para as outras médias estudadas. O gráfico da Figura 143 foi resultante da avaliação com as médias ajustadas pelo intervalo de confiança. A diferença mais

significativa com o ajuste das médias foi o aumento do terceiro quartil da condição “RI_boa_IS_boa” do teste sob ruído de conversa, que aumentou em 5%. De modo geral, o ajuste das médias para o intervalo de confiança apresenta uma mesma leitura quando comparados os testes de acordo com o tipo de ruído.

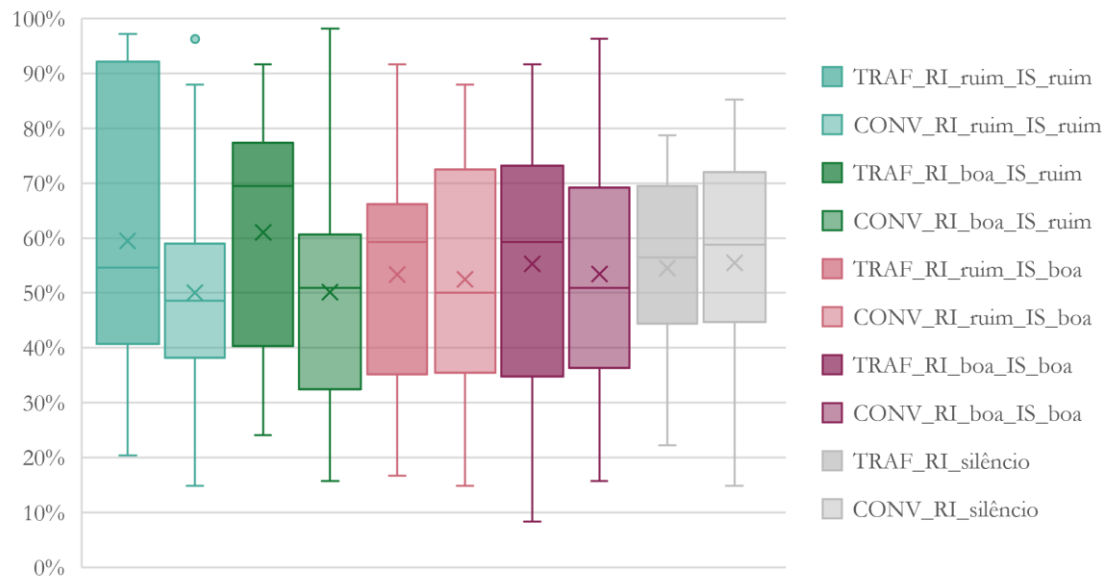
Ao desconsiderar os possíveis fatores de aleatoriedade, os resultados sofrem algumas alterações e são dispostos no gráfico da Figura 144. Dentre os resultados da condição “RI_ruim_IS_ruim”, há um deslocamento para baixo dos resultados entre quartis do teste sob ruído de conversa, indicando resultados ainda mais baixos de taxa de acerto, ou seja, mais incômodo a esse tipo de ruído nesta condição.

Figura 143 – Gráfico *boxplot* da média de taxas de acerto analisadas a partir dos dados brutos considerando apenas intervalo de confiança.



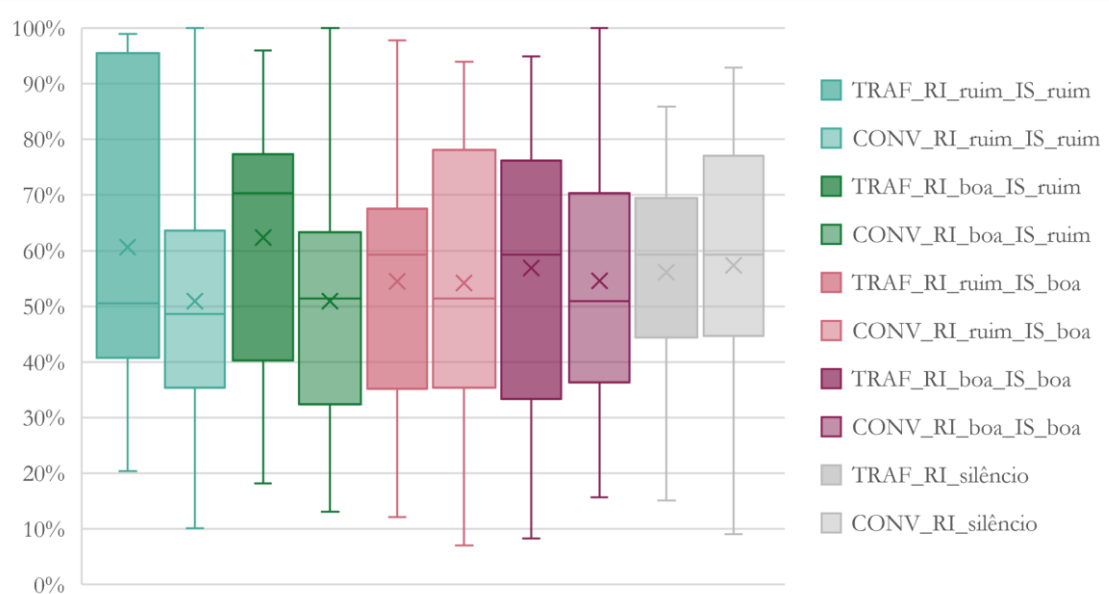
A condição “RI_boa_IS_ruim” também sofre alterações, expandindo o intervalo entre quartis em ambos os testes quando comparado ao gráfico da Figura 142. Com isso, a mediana diminui em valor, assim como a média, em comparação. Para as condições com isolamento sonoro bom, também ocorre um deslocamento para baixo e aumento das caixas do *boxplot* entre quartis nas duas condições em ambos os testes, indicando respostas mais baixas e maior variabilidade entre os resultados, visto que algumas respostas foram substituídas para 0% de acertos a fim de eliminar fatores de aleatoriedade.

Figura 144 – Gráfico *boxplot* da média de taxas de acerto analisadas desconsiderando dados aleatórios.



Ao recalcular as médias para um intervalo de confiança, os dados dispostos no gráfico da Figura 145 indicam mudança significativa apenas nos valores do terceiro quartil das condições “RI_boa_IS_ruim” do ruído de conversa e “RI_boa_IS_boa” do ruído de tráfego. Isso indica que as médias dessas condições foram mais afetadas pelo intervalo de confiança. No entanto, o comportamento das condições entre si segue os mesmos padrões das análises anteriores.

Figura 145 – Gráfico da média de taxas de acerto analisadas desconsiderando aleatórios e considerando dados do intervalo de confiança.



Essas análises mostram que, de maneira geral, a média dos dados brutos pode ser considerada um dado confiável para conclusões. No entanto, como relatado por Hurlstone (2021), os dados obtidos através de testes seriados de recuperação de memória do tipo verbal podem proporcionar uma grande variabilidade de análises e dados complexos para serem analisados. Os dados dos experimentos realizados não mostram uma tendência clara, mas trazem à discussão a importância de avaliar os dois fatores mais relevantes da acústica arquitetônica de modo conjunto.

Capítulo 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa apresentou o desenvolvimento de tópicos do referencial teórico e a aplicação da metodologia estabelecida em um estudo piloto e dois estudos objeto, que avaliaram a percepção de usuários em salas de aula sob quatro diferentes condições acústicas utilizando-se ruído de tráfego ou ruído de conversa e uma delas usando ruído rosa, sendo a situação controle.

O estudo com ruído de tráfego mostrou resultados coerentes com o esperado. Por se tratar de uma amostra pequena, não foi possível perceber uma tendência clara de relação entre o desempenho cognitivo do usuário no teste e a condição acústica na qual ele estava inserido. Porém algumas conclusões podem ser inferidas, como a maior consideração do nível de isolamento acústico como fator negativo para maior parte das perguntas, conforme discutido nos resultados desta pesquisa.

O experimento piloto aplicado na Alemanha foi repetido no Brasil e a análise dos resultados foi semelhante, agrupando-se os dados para certas análises. Esses resultados foram analisados estatisticamente, a partir de estatística descritiva, também em relação a possíveis interações interdependentes, que foram encontradas em poucos casos e com pouca significância. Visto que o teste é longo e dura cerca de 40 a 45 minutos por participante, foram avaliados também efeitos de fadiga e tempo de resposta ao longo do teste, que não apresentaram resultados conclusivos sobre a relação desses com as respostas do grupo de amostras em geral.

Ressalta-se que o áudio de tráfego utilizado foi gravado na Alemanha e, portanto, não possuía ruídos de motocicletas, por exemplo, que são comumente encontradas no tráfego brasileiro. O áudio utilizado possuía ruído de tráfego majoritariamente com variações típicas de avenidas com fluxo somente de veículos leves.

Um novo experimento objeto foi realizado no Brasil sob ruído de conversa como ruído residual. Nesse teste, os resultados foram mais baixos em comparação ao ruído de tráfego, principalmente quando havia algum grau de inteligibilidade do que era falado. Muitos participantes relataram se sentir mais incomodados com a compreensão do ruído do que com o volume propriamente dito. Foram avaliados, também, os resultados dos participantes que realizaram ambos os testes e, de modo geral, o desempenho cognitivo foi mais atrapalhado pelo ruído de conversa. As condições que possuíam isolamento acústico ruim também proporcionaram piores resultados.

A condição controle, denominada “RI_silêncio”, reproduzia ruído rosa para mascarar possíveis ruídos do laboratório real. No entanto, alguns participantes relataram se incomodar com esse tipo de ruído, enquanto outros diziam relaxar com o áudio tocado e se sentiam mais focados na tarefa. De toda forma, os resultados de todos os grupos nessa condição foram equivalentes, de modo que pôde ser considerada como uma condição controle. Os resultados dessa condição foram mais aproximados dos resultados em que o isolamento acústico era bom.

Tendo em vista que os resultados não apresentaram uma tendência clara entre si, algumas hipóteses foram levantadas. Uma delas é que a diferença entre os níveis de pressão sonora equivalentes usados nas condições boa e ruim de isolamento sonoro não seja suficiente para influenciar no desempenho cognitivo de modo significativo. Um nível mais intenso e, conseqüentemente, mais perturbador na condição ruim de isolamento sonoro provavelmente provocaria mais irritação, resultando em piores índices de atenção. Contudo, é importante ressaltar que o nível sonoro utilizado também deve levar em consideração a duração do teste. As condições com isolamento sonoro bom, principalmente quando combinada com a resposta impulsiva boa, foram relatadas como muito silenciosas por alguns participantes, que disseram se distrair mais facilmente. Já as condições com isolamento sonoro ruim foram consideradas relativamente comuns e até mesmo pouco barulhentas por alguns participantes, que relataram estar acostumados a condições piores de trabalho e estudo.

Foi visto que, de modo geral, o desempenho dos participantes é influenciado mesmo que minimamente por esses ruídos, principalmente quando o isolamento acústico é ruim e quando a resposta impulsiva ruim é associada ao isolamento bom. Os participantes se incomodam e encontram mais dificuldade quando o nível de ruído é mais elevado e parecem não perceber precisamente a influência do tempo de reverberação no ruído contínuo.

Vale ressaltar, também, que o controle dos óculos de realidade virtual Pro Eye VIVE apresenta falhas no acionamento do botão com certa frequência, sendo necessário apertar o botão mais de uma vez para que execute o comando. Esse fator, embora avisado previamente aos participantes em ambos os países, pode ter influenciado nos resultados de muitos deles. Alguns participantes relataram se incomodar com o uso do controle e precisaram se adaptar ao uso do botão do tipo gatilho durante o teste para que pudessem realizá-los de modo mais preciso. Esse fator, assim como outros, pode resultar em erros experimentais, visto que o teste utiliza pessoas. A autora procurou se certificar com todos os participantes, após os testes, sobre possíveis fatores que

tenham influenciado na confiabilidade dos resultados dos testes realizados, havendo a necessidade de excluir apenas um participante da Alemanha dos resultados.

Como ideias para futuros trabalhos, tem-se a avaliação de níveis diferentes de isolamento sonoro, incluindo situações ainda mais críticas, com resposta impulsiva boa, de modo que o ruído seja inteligível e que esse grau de isolamento seja relacionado ao bom condicionamento acústico. É importante ressaltar que, para tal, o teste deve ter uma duração mais curta, visto que o nível sonoro mais elevado pode provocar uma certa perturbação nos participantes durante a execução da tarefa. Outra ideia é avaliar se o grau de realismo da sala influencia sob uma mesma condição acústica, de modo a analisar se o participante tem percepções diferentes do ruído a partir de graus de realismo e imersão em realidade virtual, modificando, por exemplo, o forro da sala de acordo com o grau de condicionamento acústico utilizado no teste.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. C.; FREIRE, R. D. **Conceituação e adequação dos termos em inglês recall e serial recall ao português brasileiro no contexto da performance musical.** (Luis Felipe Oliveira, Ed.) Anais do X Simpósio de Cognição e Artes Musicais. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2014. Disponível em: <https://musicaeinclusao.files.wordpress.com/2016/06/louro-viviane-jogos-musicais-transtorno-do-espectro-autista-e-teoria-da-mente_pg-345.pdf>. Acesso em: 21 set. 2022

ALVES, L. DA R. **TODOS ENTENDERAM?: Compatibilização das características arquitetônicas e qualidade acústica em salas de aula nas instituições federais de ensino superior de Natal / RN.** Dissertação— Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2018.

ASSELINÉAU, M. **Building acoustics.** 1. ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16313: Acústica - Terminologia.** 2014 Brasil, 2014. Disponível em: <www.abnt.org.br>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, (ABNT). **NBR 10.152: Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações.** Brasil, 2017.

ASTOLFI, A. et al. **The new Italian standard UNI 11532 on acoustics for schools.** Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics. **Anais...**Aachen: RWTH Aachen University, set. 2019. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/335910047>>

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BRANDÃO, E. **Acústica de salas: projeto de modelagem.** 1. ed. São Paulo: Blucher, 2016.

CHOI, Y.-J. The intelligibility of speech in university classrooms during lectures. **Applied Acoustics**, v. 162, p. 107211, 2020.

CONNOLLY, D. et al. Adolescents' perceptions of their school's acoustic environment: The development of an evidence based questionnaire. **Noise and Health**, v. 15, n. 65, p. 269, 2013.

DEPARTMENT FOR EDUCATION. **Building Bulletin 93, “Acoustic design of schools - performance standards”**. United Kingdom, 2015.

DOCKRELL, J. E.; SHIELD, B. M. Acoustical barriers in classrooms: The impact of noise on performance in the classroom. **British Educational Research Journal**, v. 32, n. 3, p. 509–525, 2006.

ERMANN, M. **Architectural Acoustics Illustrated**. 1. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.

EVEREST, F. A.; POHLMANN, K. C. **Master Handbook of Acoustics**. 6. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.

HEIMES, A.; IMRAN, M.; VORLÄNDER, M. **A real-time virtual reality building acoustic auralization framework for psychoacoustic experiments with contextual and interactive features**. Anais do 23º International Congress on Acoustics. **Anais...Aachen**: set. 2019. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/335798554>>

HEIMES, A.; MUHAMMAD, I.; VORLÄNDER, M. Real-Time Sound Insulation Auralization Framework for Virtual Environments for Indoor and Outdoor Sources Audio-Visual Virtual Reality Framework. n. April, p. 1–4, 2020.

HURLSTONE, M. J. Serial Recall. Em: M. J. KAHANA; A. D. WAGNER (Eds.). **The Oxford Handbook of Human Memory**. Oxford University Press, 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, (ISO). **ISO 3382-2: Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms**. Suíça, 2008.

ISBERT, A. C. **Diseño acústico de espacios arquitectónicos**. 1. ed. Edicions UPC, 1998.

ISO. **Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 1: Airborne sound insulation between rooms**. Reino Unido, 2017a.

ISO. **Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound**. , 2017b.

KLATTE, M.; BERGSTRÖM, K.; LACHMANN, T. Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children. **Frontiers in Psychology**, v. 4, 30 ago. 2013.

KLATTE, M.; LACHMANN, T.; MEIS, M. Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting. **Noise and Health**, v. 12, n. 49, p. 270–282, out. 2010.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; MOREIRA, D. C.; DELIBERADOR, M. S. O Programa Arquetônico No Processo De Projeto: Discutindo a Arquitetura Escolar, Respeitando O Olhar Do Usuário. Em: SALGADO, M. S.; RHEINGANTZ, P. A. (Eds.). **O programa arquetônico no processo de projeto: discutindo a arquitetura escolar, respeitando o olhar do usuário**. 1. ed. Rio de Janeiro: Antac, 2012. p. 160–185.

KUTTRUFF, H. **Acoustics: An introduction**. 1. ed. New York: Taylor & Francis Group, 2007.

KUTTRUFF, H. **Room Acoustics**. 6ª ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.

LOKKI, T. **Physically-based auralization: design, implementation, and evaluation**. Doutorado—Espoo: Helsinki University of Technology, 2002.

LUBMAN, D.; SUTHERLAND, L. C. **Good Classroom Acoustics is a Good Investment**. 17th International Congress on Acoustics. **Anais...Roma**: ICA, 2001.

MELO, V. S. G. DE. **Avaliação de inteligibilidade em salas de aula do ensino fundamental a partir de respostas impulsivas biauriculares obtidas com cabeça artificial de dimensões infantis**. Tese de doutorado—Rio de Janeiro: UFRJ, 2012.

MOMMERTZ, E. **Acoustics and Sound Insulation**. Basel: Birkhäuser, 2009.

MUHAMMAD, I.; VORLÄNDER, M.; SCHLITTMETTER, S. J. Audio-video virtual reality environments in building acoustics: An exemplary study reproducing performance results and subjective ratings of a laboratory listening experiment. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 146, n. 3, p. EL310–EL316, 2019.

NOGUEIRA, R. **Elaboração e análise de questionários: uma revisão da literatura básica e aplicação dos conceitos a um caso real**. Rio de Janeiro: 2012.

PETERS, B. Parametric Acoustic Surfaces. **Association for Computer Aided Design in Architecture**, p. 174–181, 2007.

PROACÚSTICA. **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2021 Acústica**. São Paulo: 2021.

PRODI, N.; VISENTIN, C. Listening efficiency during lessons under various types of noise. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 138, n. 4, p. 2438–2448, 2015.

SCHLITTEMEIER, S. J. et al. The impact of background speech varying in intelligibility: Effects on cognitive performance and perceived disturbance. **Ergonomics**, v. 51, n. 5, p. 719–736, 2008.

SCHLITTEMEIER, S. J. et al. Algorithmic modeling of the irrelevant sound effect (ISE) by the hearing sensation fluctuation strength. **Attention, Perception, and Psychophysics**, v. 74, n. 1, p. 194–203, jan. 2012.

SCHRÖDER, D.; VORLÄNDER, M. **RAVEN: A Real-Time Framework for the Auralization of Interactive Virtual Environments**. Proceedings of Forum Acousticum. **Anais...Spanish Acoustical Society**, 2011.

SEEP, B. et al. Acústica de salas de aulas. **Acústica e Vibrações**, p. 2–22, jul. 2002.

SHIELD, B. et al. A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary school classrooms in England. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 137, n. 1, p. 177–188, 2015.

STANDARD INTERNATIONAL ORGANIZATION. Iso 3382-1. **International Organization for Standardization**, v. 2009, p. 34, 2009.

TIESLER, G.; MACHNER, R.; BROKMANN, H. Classroom acoustics and impact on health and social behaviour. **Energy Procedia**, v. 78, p. 3108–3113, 2015.

VISENTIN, C. et al. Speech intelligibility and listening effort in university classrooms for native and non-native Italian listeners. **Building Acoustics**, v. 26, n. 4, p. 275–291, 2019.

VORLÄNDER, M. et al. Virtual reality for architectural acoustics. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 8, n. 1, p. 15–25, 2 jan. 2014.

VORLÄNDER, M. **Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality**. 2. ed. Aachen: Springer; ASA Press, 2020a.

VORLÄNDER, M. **Auralization**. 2. ed. Cham: Springer, 2020b.

WOOLWORTH, D.; PHINNEY, P. **Classroom Acoustics for Architects**. Melville, NYAcoustical Society of America, , 2015.

APÊNDICE A

Link para áudios auralizados

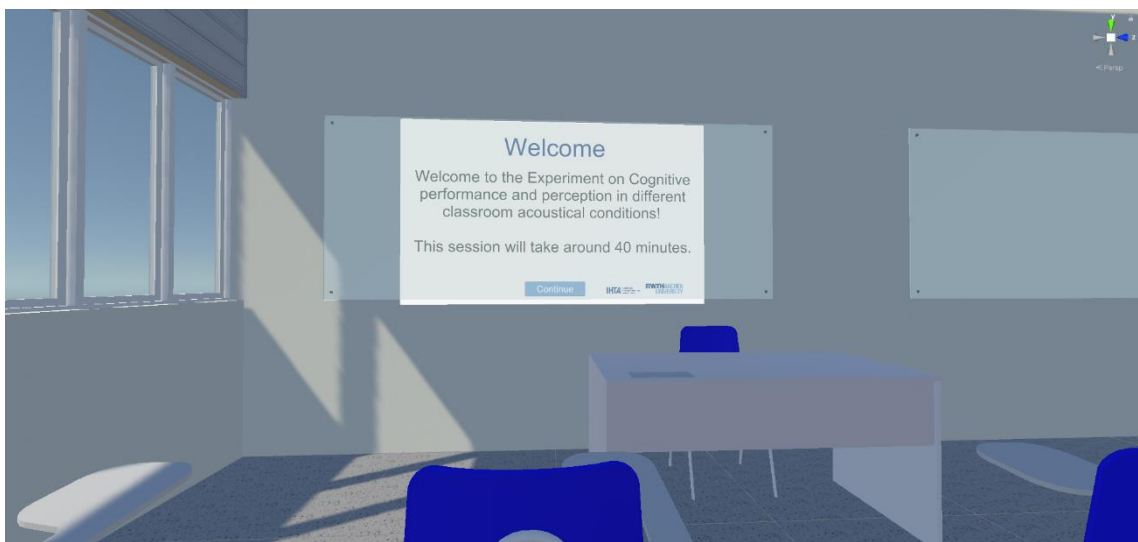
Os áudios em suas configurações finais podem ser encontrados no *link* <https://bit.ly/condicoesacusticas> no formato .wav. O QR Code a seguir direciona o usuário para o mesmo *link*.

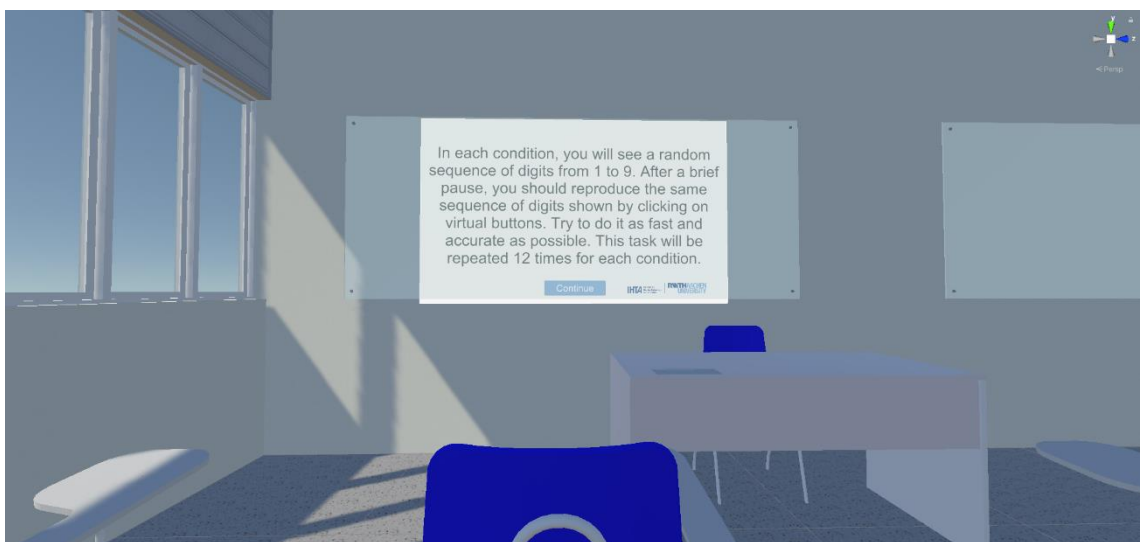
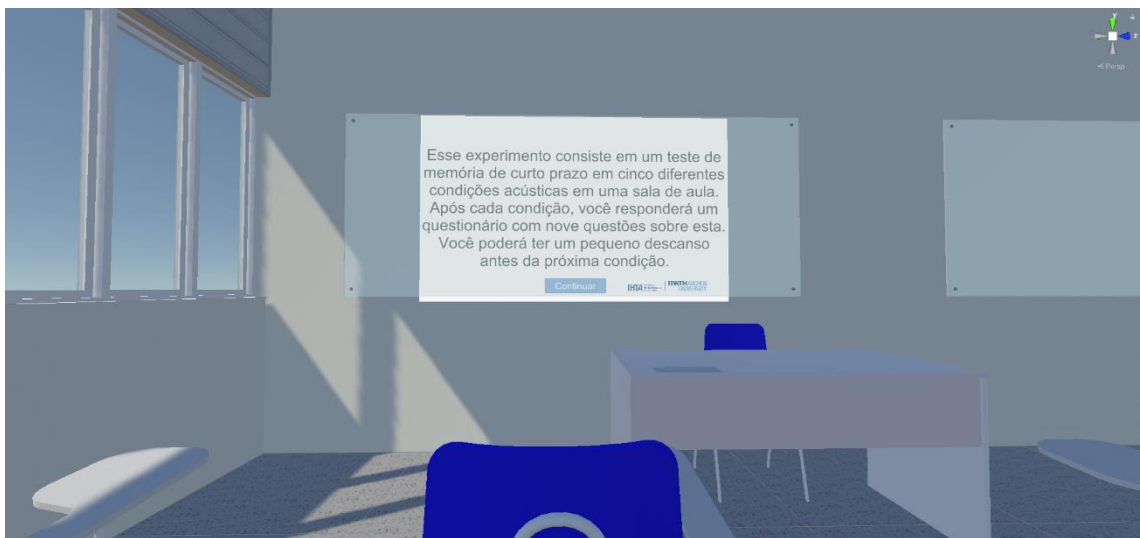
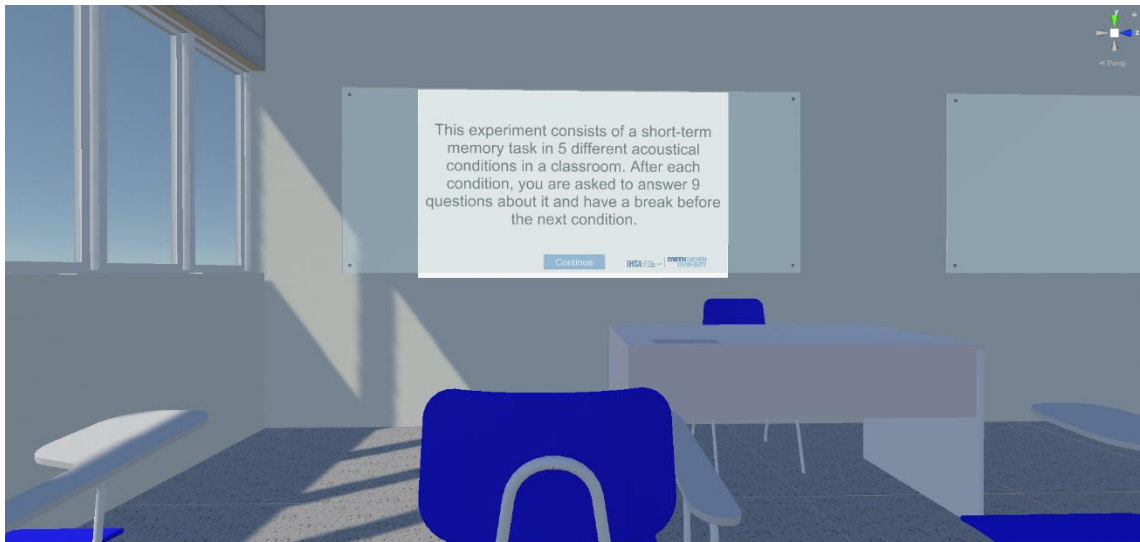
QR Code para acesso ao link com áudios auralizados.

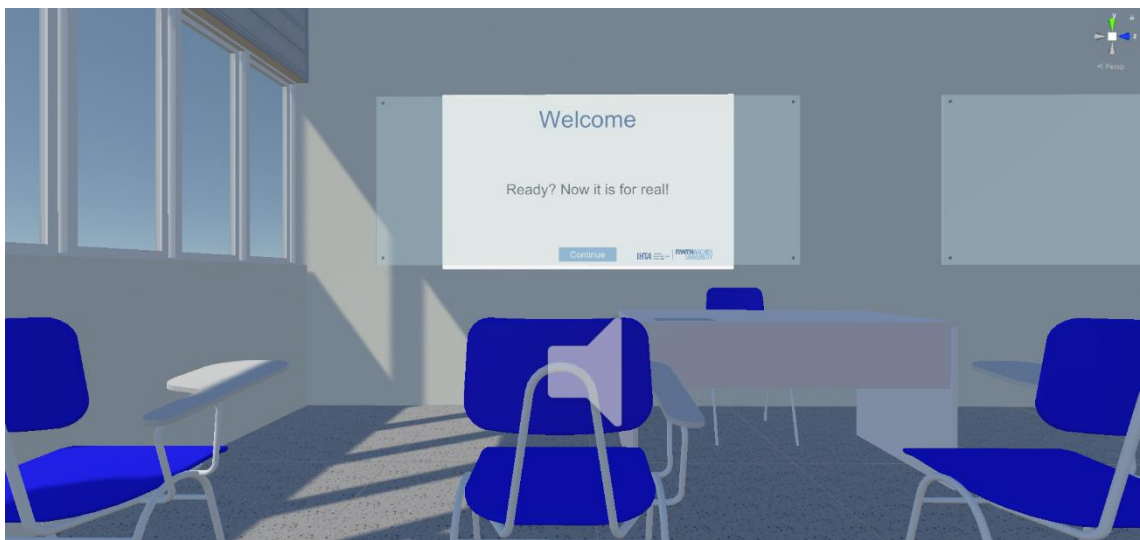
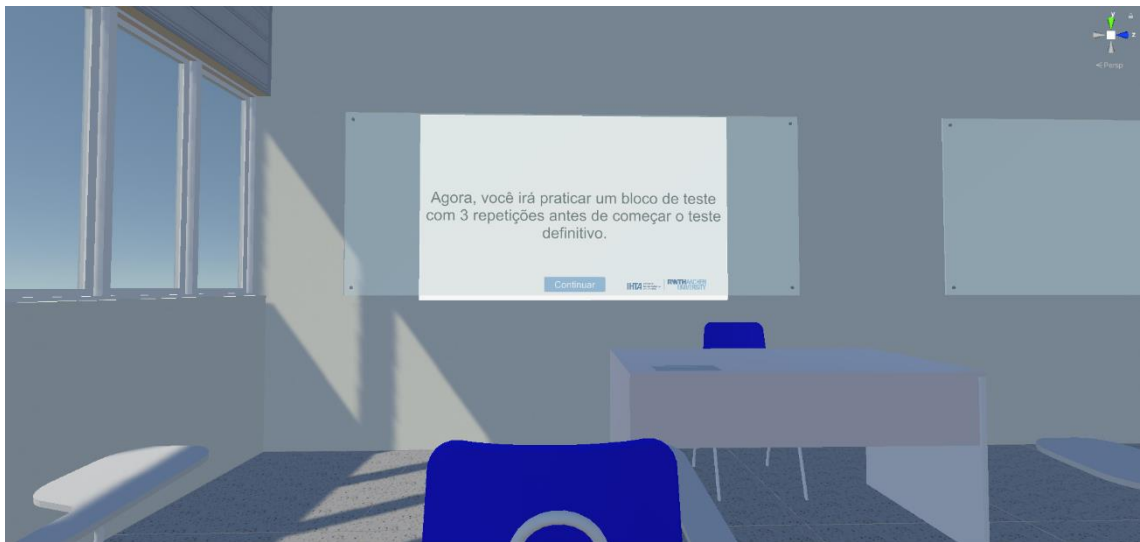


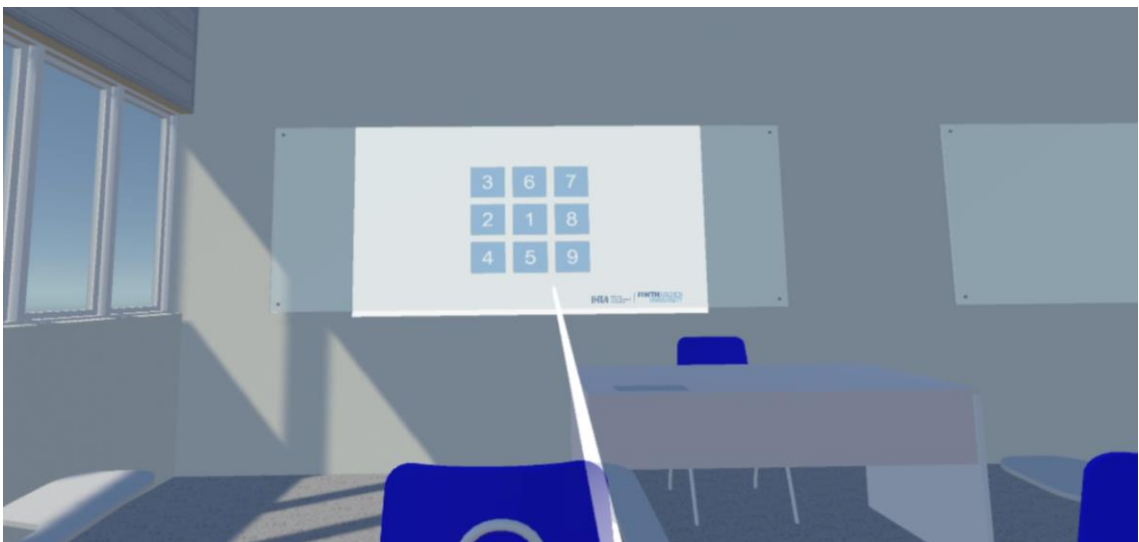
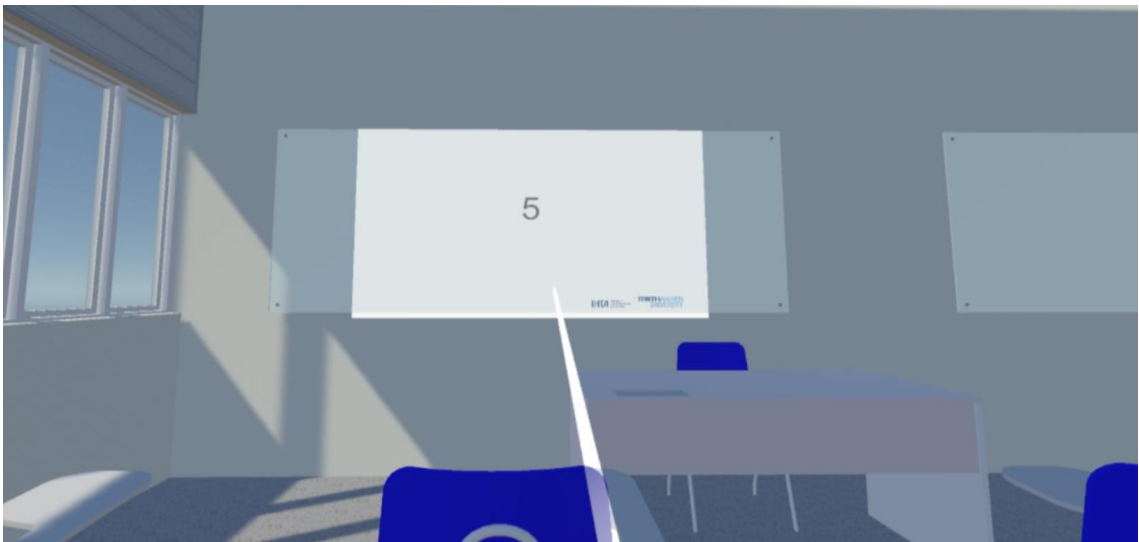
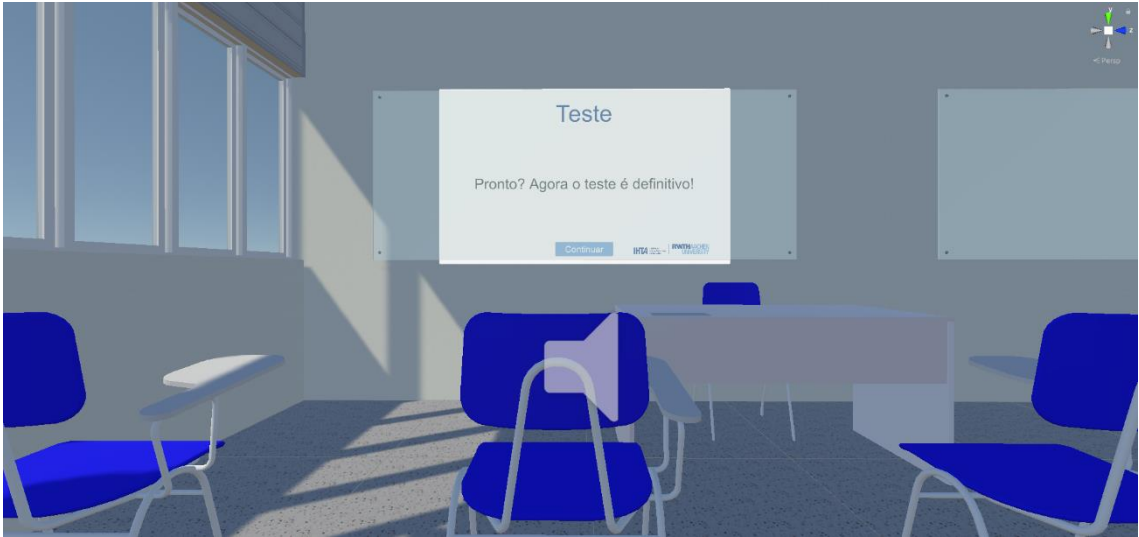
APÊNDICE B

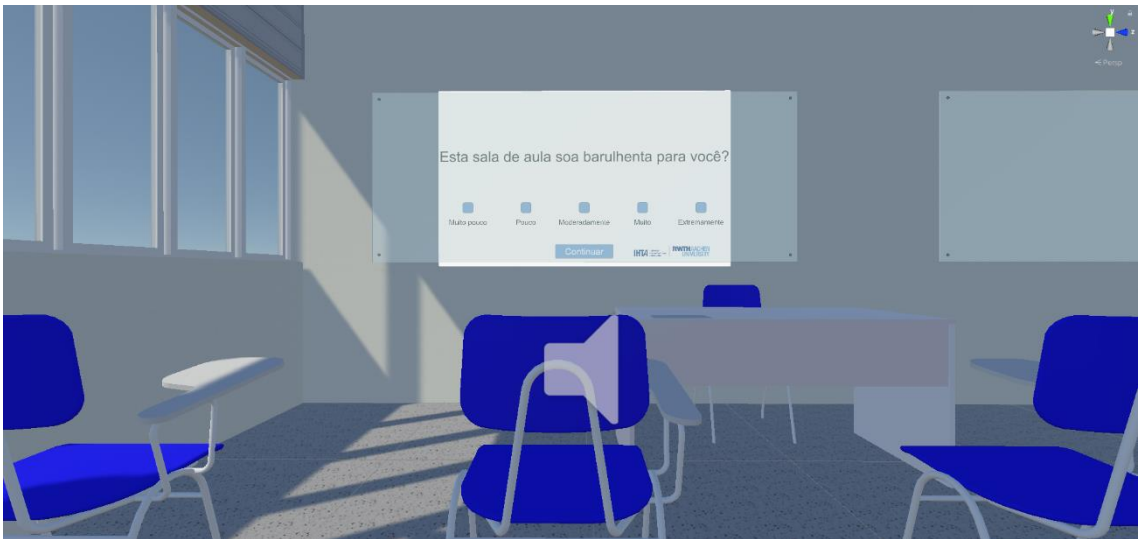
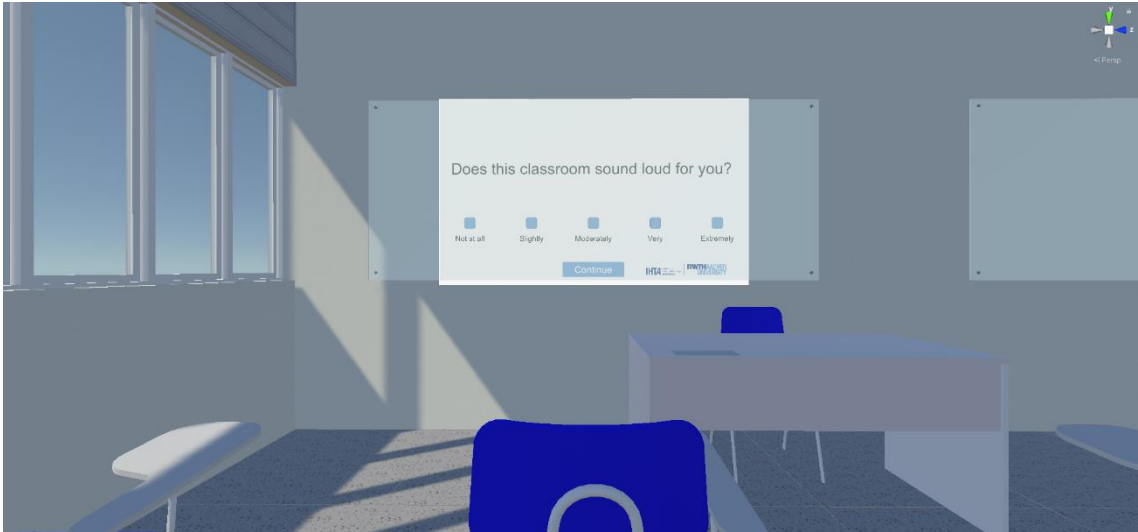
Imagens vistas pelos participantes na realização do teste (em inglês para os participantes na Alemanha e em português para os participantes no Brasil). As telas aparecem primeiro na versão em inglês seguidas na versão em português de cada uma delas. As imagens são apresentadas na ordem vista pelos participantes, com apenas uma imagem para exemplificação da tela vista durante a aparição dos dígitos durante o teste e da tela com botões para reprodução da ordem memorizada, bem como uma pergunta do questionário, mostrado a título de exemplificação.













APÊNDICE C

Tabela do coeficiente de variação e representatividade da média e mediana dos dados de cada participante da Alemanha por condição acústica.

RI_ruim_IS_ruim

Participante	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Média	54,6	63,0	47,2	50,0	67,6	76,9	21,3	56,5	74,1	93,5	54,6	53,7	77,8	65,7	94,4	30,6
Desvio-padrão	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Coef. Variação	35,0	21,4	35,2	16,8	23,9	32,3	20,4	29,0	27,8	10,0	22,9	22,6	23,2	18,6	10,1	28,5
Coef. Variação	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Representatividade da Média	64,0	33,9	74,5	33,5	35,4	42,0	95,6	51,3	37,5	10,7	42,0	42,2	29,8	28,3	10,6	93,2
Representatividade da Média	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Mediana	36,0	66,1	25,5	66,5	64,6	58,0	4,4	48,7	62,5	89,3	58,0	57,8	70,2	71,7	89,4	6,8
Mediana	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Desvio-padrão	61,1	77,8	44,4	55,6	66,7	88,9	16,7	61,1	77,8	100,0	61,1	50,0	77,8	61,1	100,0	22,2
Desvio-padrão	%	%	%	%	%	%	%	%	%	0%	%	%	%	%	0%	%
Coef. Variação	35,0	21,4	35,2	16,8	23,9	32,3	20,4	29,0	27,8	10,0	22,9	22,6	23,2	18,6	10,1	28,5
Coef. Variação	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Representatividade da Mediana	57,2	27,5	79,1	30,2	35,9	36,3	122,0	47,4	35,7	10,0	37,5	45,3	29,8	30,5	10,1	128,0
Representatividade da Mediana	%	%	%	%	%	%	1%	%	%	%	%	%	%	%	%	1%
Representatividade da Mediana	42,8	72,5	20,9	69,8	64,1	63,7	22,1	52,6	64,3	90,0	62,5	54,7	70,2	69,5	89,9	28,1
Representatividade da Mediana	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

RI_boa_IS_ruim

Participante	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Média	51,9	68,5	60,2	36,1	69,4	88,9	28,7	69,4	86,1	75,0	33,3	62,0	87,0	61,1	75,0	33,3
Desvio-padrão	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Coef. Variação	33,9	26,3	22,5	22,3	29,6	20,7	19,8	9,6	18,4	20,7	24,2	16,7	25,9	24,4	15,1	17,1
Coef. Variação	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Representatividade da Média	65,5	38,4	37,3	61,7	42,7	23,2	69,0	13,9	21,4	27,6	72,5	27,0	29,7	39,9	20,1	51,2
Representatividade da Média	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Mediana	34,5	61,6	62,7	38,3	57,3	76,8	31,0	86,1	78,6	72,4	27,5	73,0	70,3	60,1	79,9	48,8
Mediana	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Desvio-padrão	55,6	66,7	66,7	44,4	77,8	100,0	33,3	72,2	100,0	72,2	33,3	55,6	100,0	66,7	77,8	27,8
Desvio-padrão	%	%	%	%	%	0%	%	%	0%	%	%	%	0%	%	%	%
Coef. Variação	33,9	26,3	22,5	22,3	29,6	20,7	19,8	9,6	18,4	20,7	24,2	16,7	25,9	24,4	15,1	17,1
Coef. Variação	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Representatividade da Mediana	61,1	39,5	33,7	50,1	38,1	20,7	59,4	13,3	18,4	28,7	72,5	30,1	25,9	36,6	19,4	61,5
Representatividade da Mediana	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Representatividade da Mediana	38,9	60,5	66,3	49,9	61,9	79,3	40,6	86,7	81,6	71,3	27,5	69,9	74,1	63,4	80,6	38,5
Representatividade da Mediana	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

RI_ruim_IS_boa

Participante	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
--------------	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Média	56,5	73,1	60,2	51,9	48,1	82,4	53,7	55,6	80,6	70,4	45,4	55,6	87,0	27,8	63,9	37,0
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Desvio-padrão	28,6	18,6	25,7	20,3	31,5	13,8	27,6	22,2	21,3	24,8	32,3	22,2	23,6	22,0	35,5	26,1
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Coef. Variação	50,6	25,5	42,7	39,1	65,5	16,7	51,3	40,0	26,4	35,2	71,2	40,0	27,1	79,1	55,6	70,5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Representatividade da Média	49,4	74,5	57,3	60,9	34,5	83,3	48,7	60,0	73,6	64,8	28,8	60,0	72,9	20,9	44,4	29,5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Mediana	55,6	77,8	66,7	50,0	55,6	77,8	66,7	55,6	77,8	72,2	55,6	55,6	100,0	22,2	61,1	27,8
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	0%	%	%	%
Desvio-padrão	28,6	18,6	25,7	20,3	31,5	13,8	27,6	22,2	21,3	24,8	32,3	22,2	23,6	22,0	35,5	26,1
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Coef. Variação	51,5	23,9	38,6	40,6	56,8	17,7	41,3	40,0	27,3	34,3	58,1	40,0	23,6	98,9	58,1	93,9
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Representatividade da Mediana	48,5	76,1	61,4	59,4	43,2	82,3	58,7	60,0	72,7	65,7	41,9	60,0	76,4	1,1	41,9	6,1
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

RI_boa_IS_boa

Participante	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Média	43,5	77,8	26,9	54,6	60,2	87,0	35,2	45,4	81,5	83,3	58,3	50,9	92,6	67,6	81,5	23,1
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Desvio-padrão	37,7	17,1	23,9	29,8	29,4	14,9	30,3	30,5	20,3	24,8	23,7	19,8	10,9	16,7	26,9	21,4
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Coef. Variação	86,7	22,0	89,0	54,5	48,8	17,1	86,0	67,2	24,9	29,8	40,7	38,9	11,8	24,7	33,1	92,6
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Representatividade da Média	13,3	78,0	11,0	45,5	51,2	82,9	14,0	32,8	75,1	70,2	59,3	61,1	88,2	75,3	66,9	7,4
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Mediana	33,3	88,9	22,2	61,1	72,2	88,9	27,8	50,0	77,8	100,0	66,7	55,6	100,0	66,7	94,4	11,1
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	0%	%	%	0%	%	%	%
Desvio-padrão	37,7	17,1	23,9	29,8	29,4	14,9	30,3	30,5	20,3	24,8	23,7	19,8	10,9	16,7	26,9	21,4
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Coef. Variação	113,2	19,2	107,6	48,7	40,7	16,7	109,0	61,0	26,1	24,8	35,6	35,6	10,9	25,1	28,5	192,9
	2%	%	6%	%	%	%	0%	%	%	%	%	%	%	%	%	9%
Representatividade da Mediana	-	80,8	7,6	51,3	59,3	83,3	9,0	39,0	73,9	75,2	64,4	64,4	89,1	74,9	71,5	92,9
	13,2	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

RI_silêncio

Participante	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Média	62,0	59,3	72,2	50,9	50,9	87,0	60,2	39,8	73,1	71,3	58,3	55,6	71,3	14,8	86,1	39,8
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Desvio-padrão	26,6	18,6	19,2	25,3	34,3	14,1	25,7	31,2	22,9	23,4	26,0	22,7	27,0	16,6	14,3	21,9
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Coef. Variação	42,8	31,3	26,6	49,6	67,4	16,2	42,7	78,4	31,4	32,9	44,6	40,9	37,9	112,3	16,6	55,1
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	3%	%	%
Representatividade da Média	57,2	68,7	73,4	50,4	32,6	83,8	57,3	21,6	68,6	67,1	55,4	59,1	62,1	12,3	83,4	44,9
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Mediana	66,7	66,7	77,8	55,6	55,6	88,9	66,7	38,9	77,8	77,8	61,1	55,6	77,8	11,1	83,3	44,4
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Desvio-padrão	26,6 %	18,6 %	19,2 %	25,3 %	34,3 %	14,1 %	25,7 %	31,2 %	22,9 %	23,4 %	26,0 %	22,7 %	27,0 %	16,6 %	14,3 %	21,9 %
Coef. Variação	39,9 %	27,8 %	24,7 %	45,5 %	61,8 %	15,8 %	38,6 %	80,3 %	29,5 %	30,1 %	42,6 %	40,9 %	34,7 %	149,7 %	17,2 %	49,4 %
Representatividade da Mediana	60,1 %	72,2 %	75,3 %	54,5 %	38,2 %	84,2 %	61,4 %	19,7 %	70,5 %	69,9 %	57,4 %	59,1 %	65,3 %	- %	82,8 %	50,6 %

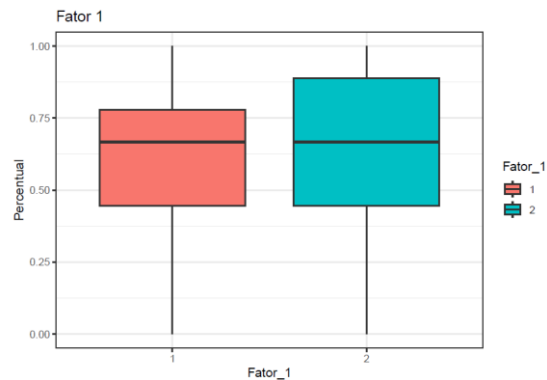
APÊNDICE D

Resultados dos relatórios dos testes estatísticos realizados por Joabe Samuel e Mateus Oliveira, alunos da graduação em estatística, sob orientação do Prof Dr Eduardo Henrique Silveira de Araújo.

RELATÓRIO 01

Variáveis renomeadas: FATOR EXPERIMENTO (Fator_1), CONDIÇÃO ACÚSTICA (Fator_2), UNIDADE AMOSTRAL (Indivíduo), RESPOSTA QUANT.DE (Acertos), RESPOSTA TAXA DE ACERTOS (Percentual)

Analisando o Fator 1:



Aqui vamos verificar se há diferença significativa entre os níveis do Fator 1, em relação à variável Percentual, usaremos um nível de significância de 5%.

Vamos verificar se os dados seguem uma distribuição normal para utilizar o teste t, a um nível de significância de 5%:

H0: Os dados seguem uma distribuição normal vs

H1: Os dados não seguem uma distribuição normal

```
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: dados$Percentual
## W = 0.92736, p-value < 2.2e-16
```

O p-valor foi menor que o nível de significância, logo os dados não seguem uma distribuição normal, rejeitamos H0 a um nível de significância de 5%. Para seguir com a análise usaremos o teste não paramétrico de Mann-Whitney que não faz suposições sobre a distribuição dos dados. Em vez disso, ele usa a classificação dos dados em ordem crescente para comparar as medianas das duas amostras. O teste de Mann-Whitney compara todas as observações entre os dois grupos e atribui uma classificação para cada uma delas. Em seguida, é calculada a soma das classificações

para cada grupo e é testada a diferença das somas para determinar se há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula.

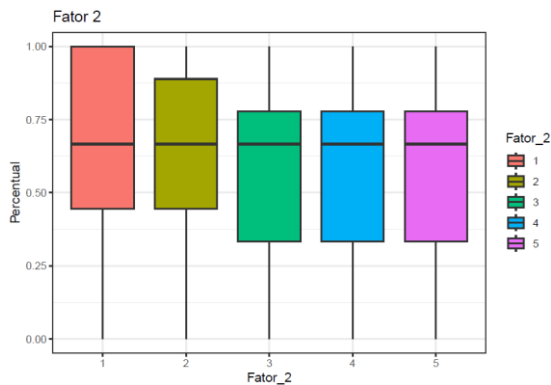
Teste de Mann-Whitney:

H0: Não há diferença significativa entre as medianas das duas amostras vs

H1: Há uma diferença significativa entre as medianas das duas amostras

```
##  
## Wilcoxon rank sum test with continuity correction  
##  
## data: (dados %>% filter(Fator_1 == "1"))$Percentual and (dados %>% filter(Fator_1 ==  
"2"))$Percentual  
## W = 478512, p-value = 0.3781  
## alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0  
Como o resultado do p-valor foi maior que o nível de significância (5%), não rejeitamos H0, não  
há diferença significativa entre os dois grupos.
```

Analisando o Fator 2:



Aqui vamos verificar se há diferença significativa entre os níveis do Fator 2, em relação à variável Percentual, usaremos um nível de significância de 5%.

ANOVA

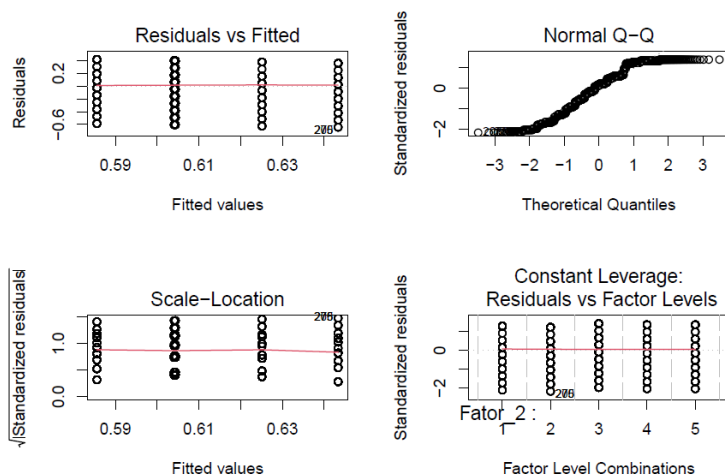
H0: Não há diferença significativa entre as médias dos grupos (níveis do Fator_2) vs

H1: Há pelo menos uma diferença significativa entre as médias dos grupos (níveis do Fator_2)

```
## Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)  
## Fator_2 4 0.78 0.19549 2.213 0.0653 .  
## Residuals 1975 174.44 0.08832  
## ---  
## Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

O p-valor foi maior que o nível de significância de 5%, logo, não há evidências de que as médias dos grupos (níveis do Fator_2) sejam diferentes, porém devemos analisar os pressupostos da ANOVA para ter uma resposta mais confiável.

Análise gráfica dos resíduos:



Aparentemente os resíduos não seguem uma distribuição normal, e esse é um dos pressupostos para a realização da ANOVA, vamos realizar o teste de normalidade dos resíduos.

H0: Os resíduos seguem uma distribuição normal vs

H1: Os resíduos não seguem uma distribuição normal

```
##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: anova_Fator_2$residuals
## W = 0.94566, p-value < 2.2e-16
```

Como o p-valor foi menor que 5%, rejeitamos H0, os resíduos não seguem uma distribuição normal, logo o resultado da ANOVA não é confiável para essa análise.

Teste de kruskal-Wallis: Quando os pressupostos de normalidade e homocedasticidade são violados, não podemos confiar no resultado de uma análise de variância tradicional, pois a probabilidade de se cometer um erro do tipo 1 aumenta. A alternativa não paramétrica para a ANOVA com um fator é o teste de kruskal-wallis. É o teste não paramétrico de comparação de mais de dois grupos independentes com resposta (variável resposta) quantitativa ou pelo menos em escala ordinal. Ele nos indica se há diferença entre pelo menos dois deles. A aplicação do teste utiliza os valores numéricos transformados em postos e agrupados num só conjunto de dados, e a comparação é feita pela média dos postos dos grupos.

Hipóteses: No teste, estamos testando se as k amostras independentes são provenientes de uma mesma população ou se pelo menos uma delas é de população distintas das demais.

Procedimento: O método consiste em primeiramente atribuir a cada valor observado, um posto, sempre atribuindo o menor posto ao menor valor e o maior posto ao maior valor e logo após ordenar de forma crescente, permite-nos obter o total das ordens para cada situação. Se existirem apenas diferenças aleatórias entre as situações, como é postulado na hipótese nula, é de se esperar que ordens altas e baixas se distribuam de forma aproximadamente equivalente pelas diferentes situações. Mas se pelo contrário, houver uma predominância de altos ou baixos resultados em qualquer uma das situações, é provável que tal fato reflita diferenças significativas devidas à variável independente.

Teste de Kruskal-Wallis:

H0: As cinco amostras (cinco níveis do Fator_2) são provenientes de uma mesma população vs

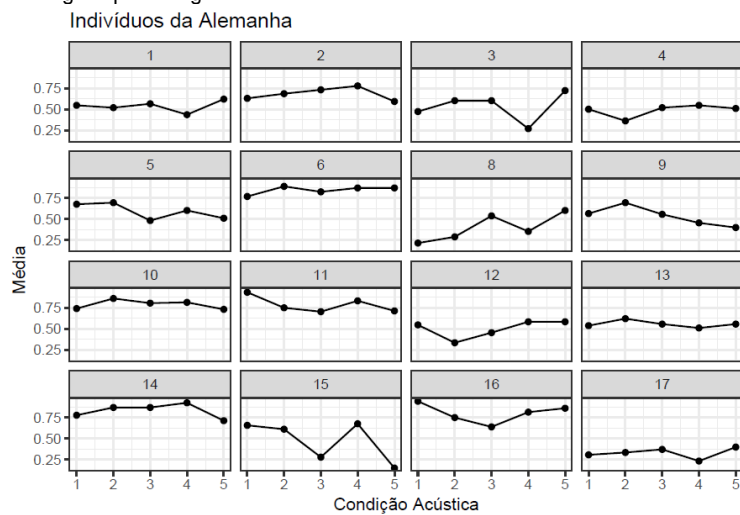
H1: Há pelo menos um par das cinco amostras (cinco níveis do Fator_2) que não são provenientes da mesma distribuição.

```
##
## Kruskal-Wallis rank sum test
##
## data: Percentual by Fator_2
## Kruskal-Wallis chi-squared = 8.5715, df = 4, p-value = 0.07275
```

Como o p-valor foi maior que o nível de significância de 5%, não há evidências de que as cinco amostras (cinco níveis do Fator_2) são provenientes de populações diferentes a um nível de significância de 5%.

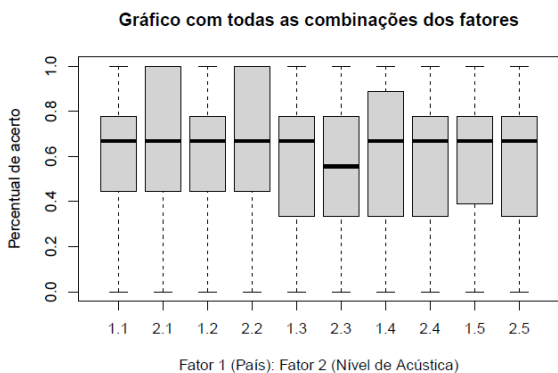
Analisando cada indivíduo separadamente

```
## 'summarise()' has grouped output by 'Fator_2'. You can override using the
## '.groups' argument.
```



RELATÓRIO 2

Comparações entre Alemanha e Brasil em relação ao percentual de acertos



Teste t: O teste t é uma técnica estatística utilizada para comparar as médias de duas amostras independentes e determinar se as diferenças entre elas são estatisticamente significativas. Ele é aplicado quando os dados apresentam uma distribuição normal ou aproximadamente normal.

O teste t utiliza a estatística t de Student para calcular a diferença entre as médias das amostras, levando em consideração a variabilidade dos dados em cada amostra. Quanto maior for a diferença

entre as médias e menor for a variabilidade dentro de cada amostra, maior será a estatística t e mais significativa será a diferença entre as médias.

Existem diferentes tipos de teste t, dependendo do número de amostras e das suas características. O teste t de duas amostras independentes é o mais comum e é utilizado quando as amostras são independentes e têm tamanhos iguais ou diferentes.

Tabela com os p-valores dos testes t realizados:

Alemanha	Brasil	p-valor
fatores1.1	fatores2.1	0.462268955
fatores1.2	fatores2.2	0.065610368
fatores1.3	fatores2.3	0.628209800
fatores1.4	fatores2.4	0.923667687
fatores1.5	fatores2.5	0.561176789

Comparação separando os países

ANOVA (Analysis of Variance) é uma técnica estatística utilizada para analisar a variação entre as médias de duas ou mais amostras. Ela permite determinar se as diferenças observadas entre as médias das amostras são estatisticamente significativas ou se podem ser atribuídas ao acaso. A partir desse teste, é possível determinar se há diferenças significativas entre as médias das amostras.

Alemanha

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Percentual
## Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Fator_2 4 0.083 0.020653 0.2311 0.9209
## Residuals 955 85.337 0.089358
```

Análise descritiva dos dados a Alemanha

```
##
## Descriptive statistics by group
## group: 1
## vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
## X1 1 192 0.61 0.31 0.67 0.63 0.33 0 1 1 -0.38 -0.88 0.02
## -----
## group: 2
## vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
## X1 1 192 0.62 0.29 0.67 0.64 0.33 0 1 1 -0.36 -0.77 0.02
## -----
## group: 3
## vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
## X1 1 192 0.59 0.29 0.67 0.61 0.33 0 1 1 -0.29 -0.93 0.02
## -----
## group: 4
## vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
## X1 1 192 0.61 0.32 0.67 0.63 0.33 0 1 1 -0.45 -1.03 0.02
## -----
## group: 5
## vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
## X1 1 192 0.6 0.29 0.67 0.61 0.25 0 1 1 -0.42 -0.73 0.02
```

Brasil

```
## Analysis of Variance Table
##
## Response: Percentual
## Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## Fator_2 4 0.964 0.241055 2.7576 0.02677 *
```

```
## Residuals 1015 88.726 0.087414
```

```
## ---
```

```
## Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Com base no p-valor 0,02677 que é menor que 5% (nível de significância) a ANOVA constatou que existe diferença entre os níveis de acústica no Brasil. Para identificar onde está a diferença utilizaremos o teste de

Tukey.

group1	group2	null.value	estimate	conf.low	conf.high	p.adj	p.adj.signif
1	2	0	0.0327	-0.0473	0.113	0.798	ns
1	3	0	-0.0577	-0.138	0.0223	0.28	ns
1	4	0	-0.0332	-0.113	0.0468	0.788	ns
1	5	0	-0.0240	-0.104	0.0560	0.925	ns
2	3	0	-0.0904	-0.170	-0.0104	0.0176	*
2	4	0	-0.0659	-0.146	0.0141	0.162	ns
2	5	0	-0.0566	-0.137	0.0234	0.299	ns
3	4	0	0.0245	-0.0555	0.105	0.919	ns
3	5	0	0.0338	-0.0462	0.114	0.778	ns
4	5	0	0.00926	-0.0707	0.0893	0.998	ns

O teste de Tukey encontrou uma diferença nas médias dos grupos 2 e 3, retornando um p-valor de 0,0176.

Análise descritiva dos dados do Brasil

```
##
```

```
## Descriptive statistics by group
```

```
## group: 1
```

```
## vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
```

```
## X1 1 204 0.64 0.31 0.67 0.66 0.49 0 1 1 -0.4 -0.89 0.02
```

```
## -----
```

```
## group: 2
```

```
## vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
```

```
## X1 1 204 0.67 0.28 0.67 0.69 0.33 0 1 1 -0.45 -0.78 0.02
```

```
## -----
```

```
## group: 3
```

```
## vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
```

```
## X1 1 204 0.58 0.31 0.56 0.59 0.33 0 1 1 -0.14 -1.1 0.02
```

```
## -----
```

```
## group: 4
```

```
## vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
```

```
## X1 1 204 0.6 0.29 0.67 0.62 0.33 0 1 1 -0.2 -1.05 0.02
```

```
## -----
```

```
## group: 5
```

```
## vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
```

```
## X1 1 204 0.61 0.28 0.67 0.62 0.33 0 1 1 -0.24 -0.95 0.02
```

Comparação geral sem distinção por país

```
## Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
```

```
## Fator_2 4 0.78 0.19549 2.213 0.0653 .
```

```
## Residuals 1975 174.44 0.08832
```

```
## ---
```

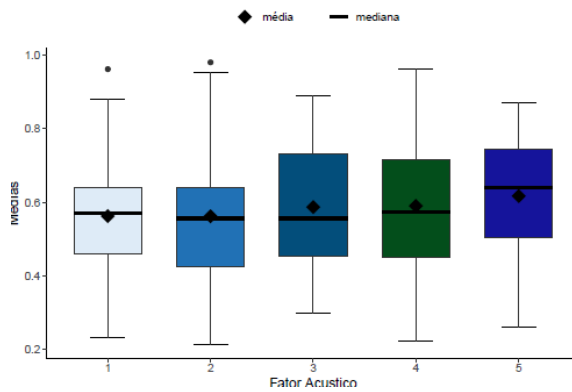
```
## Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

O p-valor foi maior que 5%, logo não há evidência de diferença entre os níveis de acústica.

RELATÓRIO 3

Análise descritiva da variável Média das Respostas

ACUSTICA	MEDIA
1	0.5620909
2	0.5614523
3	0.5864932
4	0.5898659
5	0.6167841



Ao analisar o gráfico boxplot, é possível observar que não há diferença significativa nas médias.

```
## Call:
## aov(formula = MEDIA ~ ACUSTICA, data = dados)
##
## Terms:
## ACUSTICA Residuals
## Sum of Squares 0.092472 6.638047
## Deg. of Freedom 4 215
##
## Residual standard error: 0.1757118
## Estimated effects may be unbalanced
## Analysis of Variance Table
##
## Response: MEDIA
## Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## ACUSTICA 4 0.0925 0.023118 0.7488 0.5598
## Residuals 215 6.6380 0.030875
```

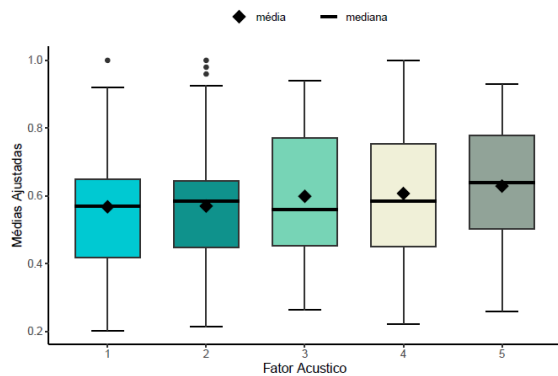
term	group1	group2	null.value	estimate	conf.low	conf.high	p.adj	p.adj.signif
ACUSTICA1	2		0	-0.0006386	-0.1036988	0.1024215	1.000	ns
ACUSTICA1	3		0	0.0244023	-0.0786579	0.1274624	0.966	ns
ACUSTICA1	4		0	0.0277750	-0.0752852	0.1308352	0.946	ns
ACUSTICA1	5		0	0.0546932	-0.0483670	0.1577534	0.590	ns

term	group1	group2	null.value	estimate	conf.low	conf.high	p.adj	p.adj.signif
ACUSTICA2	3		0	0.0250409	-0.0780193	0.1281011	0.963	ns
ACUSTICA2	4		0	0.0284136	-0.0746465	0.1314738	0.942	ns
ACUSTICA2	5		0	0.0553318	-0.0477284	0.1583920	0.579	ns
ACUSTICA3	4		0	0.0033727	-0.0996874	0.1064329	1.000	ns
ACUSTICA3	5		0	0.0302909	-0.0727693	0.1333511	0.928	ns
ACUSTICA4	5		0	0.0269182	-0.0761420	0.1299784	0.952	ns

Foi realizado o teste ANOVA para verificar se há diferença entre as médias considerando o Fator 2. Ao observar o p-valor do teste, que foi de 0.5598, concluímos que não há diferença significativa entre as médias. Conforme solicitado pela consultante, realizamos o teste de Tukey para verificar as diferenças entre as médias emparelhadas. Com base nisso, concluímos que não há diferenças significativas.

Análise para variável Média ajustada

ACUSTICA	MEDIA_AJUSTADA
1	0.5676432
2	0.5697159
3	0.5987091
4	0.6070636
5	0.6288205



Ao analisar o gráfico boxplot, é possível observar que não há diferença significativa nas médias.

```
## Call:
## aov(formula = MEDIA_AJUSTADA ~ ACUSTICA, data = dados)
##
## Terms:
## ACUSTICA Residuals
## Sum of Squares 0.118313 7.664902
## Deg. of Freedom 4 215
##
## Residual standard error: 0.1888139
## Response: MEDIA_AJUSTADA
##
## ACUSTICA 4 0.1183 0.029578 0.8297 0.5076
## Residuals 215 7.6649 0.035651
```

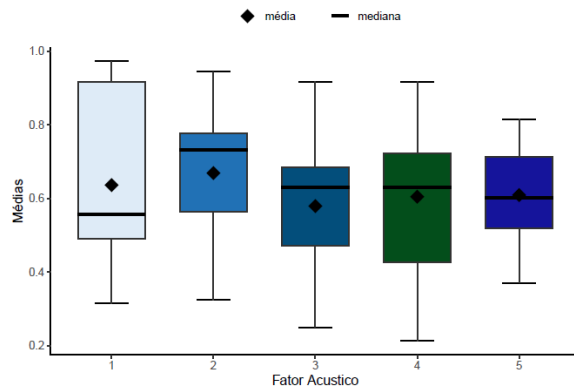
term	group1	group2	null.value	estimate	conf.low	conf.high	p.adj	p.adj.signif
ACUSTICA1	2		0	0.0020727	-0.1086722	0.1128177	1.000	ns
ACUSTICA1	3		0	0.0310659	-0.0796791	0.1418109	0.938	ns
ACUSTICA1	4		0	0.0394205	-0.0713245	0.1501654	0.864	ns
ACUSTICA1	5		0	0.0611773	-0.0495677	0.1719222	0.551	ns
ACUSTICA2	3		0	0.0289932	-0.0817518	0.1397381	0.952	ns
ACUSTICA2	4		0	0.0373477	-0.0733972	0.1480927	0.886	ns
ACUSTICA2	5		0	0.0591045	-0.0516404	0.1698495	0.584	ns
ACUSTICA3	4		0	0.0083545	-0.1023904	0.1190995	1.000	ns
ACUSTICA3	5		0	0.0301114	-0.0806336	0.1408563	0.945	ns
ACUSTICA4	5		0	0.0217568	-0.0889881	0.1325018	0.983	ns

Foi realizado o teste ANOVA para verificar se há diferença entre as médias considerando o Fator 2. Ao observar o p-valor do teste, que foi de 0.5076, concluímos que não há diferença significativa entre as médias. Conforme solicitado pela consultante, realizamos o teste de Tukey para verificar as diferenças entre as médias emparelhadas. Com base nisso, concluímos que não há diferenças significativas.

BANCO DE DADOS DOS BRASILEIROS

Análise para variável Média

ACUSTICA	MEDIA
1	0.6361588
2	0.6688529
3	0.5789882
4	0.6045647
5	0.6089412



Ao analisar o gráfico boxplot, é possível observar que não há diferença significativa nas médias.

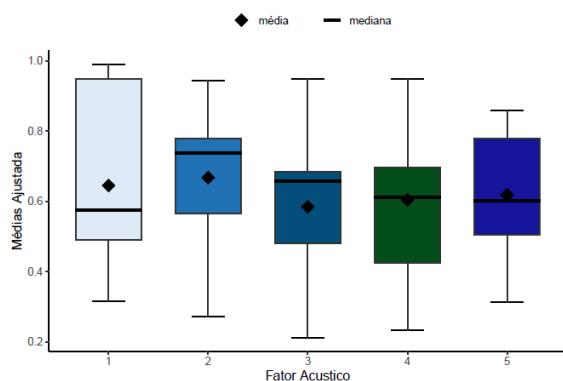
```
## Call:
## aov(formula = MEDIA ~ ACUSTICA, data = dados1)
##
## Terms:
## ACUSTICA Residuals
## Sum of Squares 0.0797127 2.9175122
## Deg. of Freedom 4 80
##
## Residual standard error: 0.1909683
## Estimated effects may be unbalanced
## Analysis of Variance Table
##
## Response: MEDIA
## Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## ACUSTICA 4 0.07971 0.019928 0.5464 0.7021
## Residuals 80 2.91751 0.036469
```

term	group1	group2	null.value	estimate	conf.low	conf.high	p.adj	p.adj.signif
ACUSTICA1	2	0	0.0326941	-0.1501188	0.2155071	0.987	ns	
ACUSTICA1	3	0	-0.0571706	-0.2399835	0.1256424	0.906	ns	
ACUSTICA1	4	0	-0.0315941	-0.2144071	0.1512188	0.989	ns	
ACUSTICA1	5	0	-0.0272176	-0.2100306	0.1555953	0.994	ns	
ACUSTICA2	3	0	-0.0898647	-0.2726776	0.0929482	0.647	ns	
ACUSTICA2	4	0	-0.0642882	-0.2471012	0.1185247	0.863	ns	
ACUSTICA2	5	0	-0.0599118	-0.2427247	0.1229012	0.890	ns	
ACUSTICA3	4	0	0.0255765	-0.1572365	0.2083894	0.995	ns	
ACUSTICA3	5	0	0.0299529	-0.1528600	0.2127659	0.991	ns	
ACUSTICA4	5	0	0.0043765	-0.1784365	0.1871894	1.000	ns	

Foi realizado o teste ANOVA para verificar se há diferença entre as médias considerando o Fator 2. Ao observar o p-valor do teste, que foi de 0.7021, concluímos que não há diferença significativa entre as médias. Conforme solicitado pela consultante, realizamos o teste de Tukey para verificar as diferenças entre as médias emparelhadas. Com base nisso, concluímos que não há diferenças significativas.

Análise para variável Média ajustada

ACUSTICA	MEDIA_AJUSTADA
1	0.6451824
2	0.6677176
3	0.5845882
4	0.6042000
5	0.6184059



Ao analisar o gráfico boxplot, é possível observar que não há diferença significativa nas médias.

```
## Call:
## aov(formula = MEDIA_AJUSTADA ~ ACUSTICA, data = dados1)
##
## Terms:
## ACUSTICA Residuals
## Sum of Squares 0.073721 3.441837
## Deg. of Freedom 4 80
##
## Residual standard error: 0.2074198
## Estimated effects may be unbalanced
## Analysis of Variance Table
##
## Response: MEDIA_AJUSTADA
## Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## ACUSTICA 4 0.0737 0.018430 0.4284 0.7877
## Residuals 80 3.4418 0.043023
```

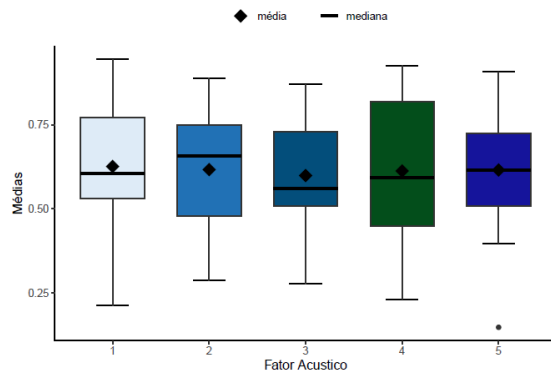
term	group1	group2	null.value	estimate	conf.low	conf.high	p.adj	p.adj.signif
ACUSTICA1	2		0	0.0225353	-0.1760265	0.2210971	0.998	ns
ACUSTICA1	3		0	-0.0605941	-0.2591560	0.1379677	0.913	ns
ACUSTICA1	4		0	-0.0409824	-0.2395442	0.1575795	0.978	ns
ACUSTICA1	5		0	-0.0267765	-0.2253383	0.1717854	0.996	ns
ACUSTICA2	3		0	-0.0831294	-0.2816912	0.1154324	0.769	ns
ACUSTICA2	4		0	-0.0635176	-0.2620795	0.1350442	0.899	ns
ACUSTICA2	5		0	-0.0493118	-0.2478736	0.1492501	0.957	ns
ACUSTICA3	4		0	0.0196118	-0.1789501	0.2181736	0.999	ns
ACUSTICA3	5		0	0.0338176	-0.1647442	0.2323795	0.989	ns
ACUSTICA4	5		0	0.0142059	-0.1843560	0.2127677	1.000	ns

Foi realizado o teste ANOVA para verificar se há diferença entre as médias considerando o Fator 2. Ao observar o p-valor do teste, que foi de 0.7877, concluímos que não há diferença significativa entre as médias. Conforme solicitado pela consultante, realizamos o teste de Tukey para verificar as diferenças entre as médias emparelhadas. Com base nisso, concluímos que não há diferenças significativas.

BANCO DE DADOS ALEMANHA

Análise para variável Média

ACUSTICA	MEDIA
1	0.6261562
2	0.6168881
3	0.5989687
4	0.6128500
5	0.6157438



Ao analisar o gráfico boxplot, é possível observar que não há diferença significativa nas médias.

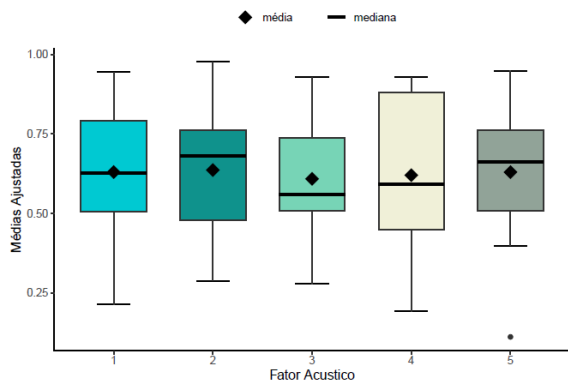
```
## Call:
## aov(formula = MEDIA ~ ACUSTICA, data = dados14)
##
## Terms:
## ACUSTICA Residuals
## Sum of Squares 0.0061815 3.0431180
## Deg. of Freedom 4 75
##
## Residual standard error: 0.2014321
## Estimated effects may be unbalanced
## Analysis of Variance Table
##
## Response: MEDIA
## Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## ACUSTICA 4 0.00618 0.001545 0.0381 0.9972
## Residuals 75 3.04312 0.040575
```

term	group1	group2	null.value	estimate	conf.low	conf.high	p.adj	p.adj.signif
ACUSTICA1	2	3	0	-0.0092681	-0.2083375	0.1898012	1.000	ns
ACUSTICA1	2	4	0	-0.0133062	-0.2123756	0.1857631	1.000	ns
ACUSTICA1	2	5	0	-0.0104125	-0.2094819	0.1886569	1.000	ns
ACUSTICA2	3	4	0	-0.0179194	-0.2169887	0.1811500	0.999	ns
ACUSTICA2	3	5	0	-0.0040381	-0.2031075	0.1950312	1.000	ns
ACUSTICA2	4	5	0	-0.0011444	-0.2002137	0.1979250	1.000	ns
ACUSTICA3	4	5	0	0.0138812	-0.1851881	0.2129506	1.000	ns
ACUSTICA3	5	2	0	0.0167750	-0.1822944	0.2158444	0.999	ns
ACUSTICA4	5	2	0	0.0028938	-0.1961756	0.2019631	1.000	ns

Foi realizado o teste ANOVA para verificar se há diferença entre as médias considerando o Fator 2. Ao observar o p-valor do teste, que foi de 0.9972, concluímos que não há diferença significativa entre as médias. Conforme solicitado pela consulente, realizamos o teste de Tukey para verificar as diferenças entre as médias emparelhadas. Com base nisso, concluímos que não há diferenças significativas.

Análise para variável Média ajustada

ACUSTICA	MEDIA_AJUSTADA
1	0.6302625
2	0.6365500
3	0.6090188
4	0.6204250
5	0.6298062



Ao analisar o gráfico boxplot, é possível observar que não há diferença significativa nas médias.

```
## Call:
## aov(formula = MEDIA_AJUSTADA ~ ACUSTICA, data = dados14)
##
## Terms:
## ACUSTICA Residuals
## Sum of Squares 0.007365 3.588065
## Deg. of Freedom 4 75
##
## Residual standard error: 0.2187255
## Estimated effects may be unbalanced
## Analysis of Variance Table
##
## Response: MEDIA_AJUSTADA
## Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## ACUSTICA 4 0.0074 0.001841 0.0385 0.9971
## Residuals 75 3.5881 0.047841
```

term	group1	group2	null.value	estimate	conf.low	conf.high	p.adj	p.adj.signif
ACUSTICA1	2		0	0.0062875	-0.2098724	0.2224474	1.000	ns
ACUSTICA1	3		0	-0.0212437	-0.2374037	0.1949162	0.999	ns
ACUSTICA1	4		0	-0.0098375	-0.2259974	0.2063224	1.000	ns
ACUSTICA1	5		0	-0.0004562	-0.2166162	0.2157037	1.000	ns
ACUSTICA2	3		0	-0.0275312	-0.2436912	0.1886287	0.996	ns
ACUSTICA2	4		0	-0.0161250	-0.2322849	0.2000349	1.000	ns
ACUSTICA2	5		0	-0.0067437	-0.2229037	0.2094162	1.000	ns
ACUSTICA3	4		0	0.0114062	-0.2047537	0.2275662	1.000	ns
ACUSTICA3	5		0	0.0207875	-0.1953724	0.2369474	0.999	ns
ACUSTICA4	5		0	0.0093813	-0.2067787	0.2255412	1.000	ns

Foi realizado o teste ANOVA para verificar se há diferença entre as médias considerando o Fator 2. Ao observar o p-valor do teste, que foi de 0.9971, concluímos que não há diferença significativa entre as médias. Conforme solicitado pela consulente, realizamos o teste de Tukey para verificar as diferenças entre as médias emparelhadas. Com base nisso, concluímos que não há diferenças significativas.

Teste t

TESTE T: Comparar resultados de cada condição acústica (fator 2) considerando a diferença do fator 1 (tipo de ruído) usando média dados brutos (coluna D)

ruido_1	ruido_2	pvalor
1	1	0.1118651
2	2	0.0430331
3	3	0.9191528
4	4	0.1290756
5	5	0.5739446

Podemos observar que no nível 2 da condição acústica entre os níveis dos ruídos, obtivemos uma diferença ao nível de 5% de significância.

TESTE T: Comparar resultados de cada condição acústica (fator 2) considerando a diferença do fator 1 (tipo de ruído) usando média ajustada dados brutos (colunaE)

ruido_1_A	ruido_2_A	pvalor_A
1	1	0.1162365
2	2	0.0520158
3	3	0.9750918
4	4	0.2411114
5	5	0.6180501

Não foi encontrado diferença significativa ao nível de 5%.

TESTE T: Comparar condições acústicas entre participantes que fizeram os dois testes - teste pareado (ver planilha “Participantes_2testes”)

TESTE T PARA MÉDIA AJUSTADA

ruido_1p	ruido_2p	pvalorp
1	1	0.2366292
2	2	0.2554779
3	3	0.1171989
4	4	0.1005288

Não foi encontrado diferença significativa ao nível de 5%.

TESTE T PARA MÉDIA AJUSTADA

ruido_1_PA	ruido_2_PA	pvalor_PA
1	1	0.2266043
2	2	0.1957860
3	3	0.0775820
4	4	0.0646853

Não foi encontrado diferença significativa ao nível de 5%.

ANEXOS

1 – Parecer consubstanciado do CEP HUOL (Nº 5.389.129)

UFRN - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO ONOFRE
LOPES DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO GRANDE DO
NORTE - HUOL/UFRN



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Experimento em desempenho cognitivo e percepção em diferentes condições acústicas de sala de aula

Pesquisador: LUCIANA DA ROCHA ALVES

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 56868422.6.0000.5292

Instituição Proponente: Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.389.129

Apresentação do Projeto:

O experimento em questão é uma etapa da tese da pesquisadora principal e consiste na aplicação do método "serial recall test". O objetivo do experimento é analisar como participantes respondem a diferentes condições acústicas em uma sala de aula simulada através de um teste cognitivo e questionário subjetivo. O participante usará um HMD (Head Mounted Display - óculos de realidade virtual) para que se sinta imerso no ambiente de uma sala de aula, modelada em ambiente virtual. Este permanecerá sentado durante todo o experimento, simulando um aluno em sala de aula, podendo mexer a cabeça livremente e observar a sala.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo do experimento é analisar como participantes respondem a diferentes condições acústicas em uma sala de aula simulada através de um teste cognitivo e questionário subjetivo.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Descritas sendo os riscos menores que os benefícios.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Todos presentes

Endereço: Avenida Nilo Peçanha, 620 - Prédio Administrativo - 1º Andar - Espaço João Machado

Bairro: Petrópolis

CEP: 59.012-300

UF: RN

Município: NATAL

Telefone: (84)3342-5003

E-mail: cep.huol@ebserh.gov.br

UFRN - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO ONOFRE
LOPES DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO GRANDE DO
NORTE - HUOL/UFRN



Continuação do Parecer: 5.389.129

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos presentes

Recomendações:

- O CEP HUOL/UFRN informa ao pesquisador que está em vigor a Lei Geral de proteção de dados- LGPD, e, vem reforçar a orientação que a aludida Lei dispõe sobre a responsabilidade na proteção e guarda dos dados sensíveis coletados e manipulados. Assim reforça-se a importância do sigilo, guarda e consentimento utilização dos dados sob pena de possíveis responsabilizações de dados extraviados ou utilizados indevidamente, bem como aqueles coletados sem a anuência e/ou ciência da sua utilização, ou utilizados para fins diversos daqueles consentidos. O presente aviso tem a finalidade de reforçar à vigência da LGPD e orientar sobre a necessidade guarda e proteção de dados, como medida precaver da possibilidade de responsabilização do pesquisador em caso dados extraviados que estejam sob sua guarda/coleta.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há dilemas éticos, todas as dúvidas foram esclarecidas pelos pesquisadores, aprovado.

Considerações Finais a critério do CEP:

1. Apresentar relatório parcial da pesquisa, semestralmente, a contar do início da mesma.
2. Apresentar relatório final da pesquisa até 30 dias após o término da mesma.
3. O CEP HUOL deverá ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo.
4. Quaisquer documentações encaminhadas ao CEP HUOL deverão conter junto uma Carta de Encaminhamento, em que conste o objetivo e justificativa do que esteja sendo apresentado.
5. Caso a pesquisa seja suspensa ou encerrada antes do previsto, o CEP HUOL deverá ser comunicado, estando os motivos expressos no relatório final a ser apresentado.
6. O TCLE deverá ser obtido em duas vias, uma ficará com o pesquisador e a outra com o participante de pesquisa.
7. Em conformidade com a Carta Circular nº. 003/2011 CONEP/CNS, faz-se obrigatório a rubrica em todas as páginas do TCLE pelo participante de pesquisa ou seu responsável e pelo pesquisador.

Endereço: Avenida Nilo Peçanha, 620 - Prédio Administrativo - 1º Andar - Espaço João Machado

Bairro: Petrópolis

CEP: 59.012-300

UF: RN

Município: NATAL

Telefone: (84)3342-5003

E-mail: cep.huol@ebserh.gov.br

UFRN - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO ONOFRE
LOPES DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO GRANDE DO
NORTE - HUOL/UFRN



Continuação do Parecer: 5.389.129

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1896661.pdf	06/04/2022 15:16:55		Aceito
Declaração de Pesquisadores	formulario_info_pesquisador_modificado.pdf	06/04/2022 15:16:00	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Recurso Anexado pelo Pesquisador	resposta_as_pendencias.pdf	04/04/2022 16:46:07	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Cronograma	Cronograma_modificado.pdf	04/04/2022 16:44:28	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle_para_maiores_de_18_anos_modificado.pdf	04/04/2022 16:44:19	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_de_pesquisa_modificado.pdf	04/04/2022 16:44:05	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Declaração de Pesquisadores	termo_de_confidencialidade.pdf	11/03/2022 14:52:56	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto_assinada.pdf	10/03/2022 21:36:38	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Orçamento	Orcamento.pdf	10/03/2022 21:35:39	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	PPGAU_carta_anuencia.pdf	10/03/2022 21:33:35	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Declaracao_ao_inicio.pdf	10/03/2022 21:32:48	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

NATAL, 05 de Maio de 2022

Assinado por:
jose diniz junior
(Coordenador(a))

Endereço: Avenida Nilo Peçanha, 620 - Prédio Administrativo - 1º Andar - Espaço João Machado
Bairro: Petrópolis **CEP:** 59.012-300
UF: RN **Município:** NATAL
Telefone: (84)3342-5003 **E-mail:** cep.huol@ebserh.gov.br

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: Experimento em desempenho cognitivo e percepção em diferentes condições acústicas de sala de aula

Pesquisador: LUCIANA DA ROCHA ALVES

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 56868422.6.0000.5292

Instituição Proponente: Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.989.443

Apresentação do Projeto:

Emenda de projeto já aprovado e em execução por esse cep. pesquisador faz modificações sem alterações éticas.

Objetivo da Pesquisa:

Modificar cronograma e retirar pesquisador bolsista.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Descrito sendo os riscos menores que os benefícios.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Emenda sem alterar a ética do estudo

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos presentes.

Modifica cronograma

Recomendações:

- O CEP HUOL/UFRN informa ao pesquisador que está em vigor a Lei Geral de proteção de dados- LGPD, e, vem reforçar a orientação que a aludida Lei dispõe sobre a responsabilidade na proteção e guarda dos dados sensíveis coletados e manipulados. Assim reforça-se a importância do sigilo,

Endereço: Avenida Nilo Peçanha, 620 - Prédio Administrativo - 1º Andar - Espaço João Machado

Bairro: Petrópolis

CEP: 59.012-300

UF: RN

Município: NATAL

Telefone: (84)3342-5003

E-mail: cep.huol@ebserh.gov.br

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO
ONOFRE LOPES DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO NORTE -
HUOL/UFRN



Continuação do Parecer: 5.989.443

guarda e consentimento utilização dos dados sob pena de possíveis responsabilizações de dados extraviados ou utilizados indevidamente, bem como aqueles coletados sem a anuência e/ou ciência da sua utilização, ou utilizados para fins diversos daqueles consentidos. O presente aviso tem a finalidade de reforçar à vigência da LGPD e orientar sobre a necessidade guarda e proteção de dados, como medida precaver da possibilidade de responsabilização do pesquisador em caso dados extraviados que estejam sob sua guarda/coleta.

- O CEP HUOL/UFRN alerta que, mesmo o projeto não apresentando óbices éticos e estando, dessa forma, aprovado, o desenvolvimento de etapas com participantes deverá ocorrer, preferencialmente, seguindo as recomendações das normas sanitárias vigentes da região durante a pandemia do coronavírus (COVID-19).

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há pendências.

Considerações Finais a critério do CEP:

1. Apresentar relatório parcial da pesquisa, semestralmente, a contar do início da mesma.
2. Apresentar relatório final da pesquisa até 30 dias após o término da mesma.
3. O CEP HUOL deverá ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo.
4. Quaisquer documentações encaminhadas ao CEP HUOL deverão conter junto uma Carta de Encaminhamento, em que conste o objetivo e justificativa do que esteja sendo apresentado.
5. Caso a pesquisa seja suspensa ou encerrada antes do previsto, o CEP HUOL deverá ser comunicado, estando os motivos expressos no relatório final a ser apresentado.
6. O TCLE deverá ser obtido em duas vias, uma ficará com o pesquisador e a outra com o participante de pesquisa.
7. Em conformidade com a Carta Circular nº. 003/2011 CONEP/CNS, faz-se obrigatório a rubrica em todas as páginas do TCLE pelo participante de pesquisa ou seu responsável e pelo pesquisador.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Endereço: Avenida Nilo Peçanha, 620 - Prédio Administrativo - 1º Andar - Espaço João Machado
Bairro: Petrópolis **CEP:** 59.012-300
UF: RN **Município:** NATAL
Telefone: (84)3342-5003 **E-mail:** cep.huol@ebserh.gov.br

**HOSPITAL UNIVERSITÁRIO
ONOFRE LOPES DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO NORTE -
HUOL/UFRN**



Continuação do Parecer: 5.989.443

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_2105734_E1.pdf	16/03/2023 19:52:57		Aceito
Solicitação Assinada pelo Pesquisador Responsável	Carta_de_Emenda.pdf	16/03/2023 19:48:10	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Declaração de concordância	Carta_anuencia_DARQ_emenda_modificado.pdf	16/03/2023 19:47:32	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_de_pesquisa_emenda_modificado.pdf	16/03/2023 19:46:39	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Declaração de Pesquisadores	formulario_info_pesquisador_modificado.pdf	06/04/2022 15:16:00	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Recurso Anexado pelo Pesquisador	resposta_as_pendencias.pdf	04/04/2022 16:46:07	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Cronograma	Cronograma_modificado.pdf	04/04/2022 16:44:28	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle_para_maiores_de_18_anos_modificado.pdf	04/04/2022 16:44:19	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_de_pesquisa_modificado.pdf	04/04/2022 16:44:05	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Declaração de Pesquisadores	termo_de_confidencialidade.pdf	11/03/2022 14:52:56	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto_assinada.pdf	10/03/2022 21:36:38	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Orçamento	Orcamento.pdf	10/03/2022 21:35:39	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	PPGAU_carta_anuencia.pdf	10/03/2022 21:33:35	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Declaracao_nao_inicio.pdf	10/03/2022 21:32:48	LUCIANA DA ROCHA ALVES	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Avenida Nilo Peçanha, 620 - Prédio Administrativo - 1º Andar - Espaço João Machado
Bairro: Petrópolis **CEP:** 59.012-300
UF: RN **Município:** NATAL
Telefone: (84)3342-5003 **E-mail:** cep.huol@ebserh.gov.br

HOSPITAL UNIVERSITÁRIO
ONOFRE LOPES DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO NORTE -
HUOL/UFRN



Continuação do Parecer: 5.989.443

NATAL, 06 de Abril de 2023

Assinado por:
ELIANE SANTOS CAVALCANTE
(Coordenador(a))

Endereço: Avenida Nilo Peçanha, 620 - Prédio Administrativo - 1º Andar - Espaço João Machado
Bairro: Petrópolis **CEP:** 59.012-300
UF: RN **Município:** NATAL
Telefone: (84)3342-5003 **E-mail:** cep.huol@ebserh.gov.br