

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

LUCAS PLAUTZ PRESTES

**ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DO PROCESSO DE
APRENDIZAGEM BASEADO EM DESIGN THINKING A PARTIR DO USO DO
ELETROENCEFALOGRAMA E RASTREAMENTO OCULAR.**

Porto Alegre
2024

LUCAS PLAUTZ PRESTES

**ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DO PROCESSO DE
APRENDIZAGEM BASEADO EM DESIGN THINKING A PARTIR DO USO DO
ELETROENCEFALOGRAMA E RASTREAMENTO OCULAR.**

Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em
Informática na Educação do Centro Interdisciplinar
de Novas Tecnologias na Educação da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a
obtenção do título de Doutor em Informática na
Educação.

Orientador: Prof. Dr. Milton Antônio Zaro.

Linha de Pesquisa: Paradigmas para a Pesquisa sobre
o Ensino Científico e Tecnológico

Porto Alegre
2024

CIP - Catalogação na Publicação

Plautz Prestes, Lucas

ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DO PROCESSO DE APRENDIZAGEM BASEADO EM DESIGN THINKING A PARTIR DO USO DO ELETROENCEFALOGRAMA E RASTREAMENTO OCULAR. / Lucas Plautz Prestes. -- 2024.

114 f.

Orientador: Milton Antônio Zaro.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Estudos Interdisciplinares em Novas Tecnologias na Educação, Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Metodologia Educacional. 2. Eletroencefalograma. 3. Design Thinking. 4. Rastreamento Ocular. 5. Inteligência Artificial. I. Antônio Zaro, Milton, orient. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CINTED – CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PPGIE – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

**ATA SOBRE A DEFESA DE TESE DE DOUTORADO
LUCAS PLAUTZ PRESTES**

Às dez horas do dia quatro de julho de dois mil e vinte e quatro, no endereço eletrônico <https://d21.zoom.us/j/97000592553>, conforme a portaria 02 de 10/10/2022 da PROPG/UFRGS que regulamenta a modalidade híbrida ou a distância para as bancas de defesas de cursos stricto sensu, reuniu-se a Comissão de Avaliação, composta pelos Professores Doutores: Dante Augusto Couto Barone, Fernando Schnaid e Francisco Catelli, para a análise da defesa de Tese de Doutorado intitulada “Análise Qualitativa e Quantitativa do Processo de Aprendizagem Baseado em Design Thinking a partir do Uso do Eletroencefalograma e Rastreamento Ocular”, do doutorando de Pós-Graduação em Informática na Educação Lucas Plautz Prestes, sob a orientação do Prof. Dr. Milton Antonio Zaro.

A Banca, reunida, após a apresentação e arguição, emite o parecer abaixo assinalado.

Considera a Tese Aprovada
() sem alterações;
(X) sem alterações, com voto de louvor;
() e recomenda que sejam efetuadas as reformulações e atendidas as sugestões contidas nos pareceres individuais dos membros da Banca;

Considera a Tese Reprovada.

Considerações adicionais (a critério da Banca):

A Banca Examinadora considera esta tese de doutorado aprovada com LOUVOR e ressalta que trata-se de um trabalho Inovador em diversas áreas, salientando-se a Neuroeducação, Computação, Matemática, Estatística, Processamento de Dados e Física, dentre outras, e, certamente trabalhos futuros poderão ser baseados na presente tese. Dentre outros aspectos, pode-se salientar o Protocolo para realização de trabalhos com EEG que permitirão que trabalhos realizados em diversos locais diferentes do mundo possam ser comparados.

Documento assinado digitalmente
gov.br MILTON ANTONIO ZARO
Data: 25/07/2024 14:29:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Milton Antonio Zaro
Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br DANTE AUGUSTO COUTO BARONE
Data: 10/07/2024 21:55:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Dante Augusto Couto Barone
PPGIE/UFRGS

FERNANDO SCHNAID:37556509087
Assinado de forma digital por FERNANDO SCHNAID:37556509087
Dados: 2024.07.17 10:52:20 -03'00'

Prof. Dr. Fernando Schnaid
PPGEC/UFRGS

Documento assinado digitalmente
gov.br FRANCISCO CATELLI
Data: 24/07/2024 09:15:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Catelli
UCS

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos permeiam a importância do doutorado, não limitado ao título em si, mas à responsabilidade que o acompanha. Esta responsabilidade contempla contribuir com o próximo nas mais diferentes áreas do conhecimento, permanecendo constantemente aberto a novos pontos de vista e principalmente ser capaz de mudar de opinião, pois a incerteza é a única verdade. O agradecimento contempla não somente a família em si, mas principalmente a todos os mestres e doutores que contribuíram de forma efetiva, não apenas para o doutorado, mas na minha caminhada como pessoa/cidadão.

Inicialmente gostaria de agradecer a todos os membros da família e esposa que estiveram ao meu lado na construção do conhecimento e desenvolvimento pessoal durante toda esta trajetória. A Romilda da Rosa por dedicar a sua vida ao próximo, tornando-se parte importante e fundamental para toda a sua família.

Agradecer ao prof. Dr Milton Zaro pela confiança aportada a mim e principalmente a todos os encontros, conhecimento e exemplos de sabedoria, humildade, generosidade e benevolência com o próximo que mudaram a concepção de valores pessoais, sendo de fundamental importância e transformando todos em sua volta.

A professora Rita Inocente pelo trabalho na educação de crianças muito além de sua responsabilidade.

Ao professor Carlos Odone pelo apoio incondicional e valores de vida que trazem em si um exemplo ao próximo pela constante busca pelo autoconhecimento.

A Monica Medeiros e Margarete Aquila pelo suporte ao autoconhecimento e origem de onde e como aqui chegamos.

Ao Carlos Loth pelo exemplo de persistência e perseverança a partir de suas escolhas. Ao Eduardo Curzio pela força de superação que a vida o impôs, mostrando que tudo pode ser superado.

Ao Alan dos Santos e Fernanda Aguiar por mostrar diferentes visões de mundo, vendo no próximo a possibilidade de crescimento individual.

Ao Alexander Magnus por ser um exemplo de perseverança a ser seguido.

Ao Dr. Dario Azevedo pela perseverança e determinação em suas ações e principalmente a possibilidade de crescimento junto aos demais mestres e doutores.

Ao professor Rubens Dutra pelo exemplo de determinação e valores pessoais inegociáveis, entregando valores em suas pequenas ações.

A todos os membros do programa PPGIE e principalmente a Patrícia F. Silva e Liane Tarouco por todo o apoio e conhecimento durante esta trajetória.

Ao Átila Batista de Araujo e Ivanir Vasconcelos Araujo pelo carinho e exemplo a serem seguidos.

Em memória de Juarez Correa e Elaine Leal Pradel. O Juarez Correa contribuiu de forma substancial na visão de mundo, sendo responsável em jamais mostrar o caminho, mas ter a sabedoria de falar o essencial, no momento certo, na hora certa e dosagem certa, fazendo as perguntas adequadas para contribuir com a caminhada do outro. A Elaine Leal Pradel um simples e não menos importante obrigado, pois foi a sua presença que construiu a base e na sua falta, o conhecimento e força para o amanhã.

Obrigado a todos e com a certeza de que os seus ensinamentos e exemplos de vida serão transmitidos ao próximo.

*Se olhares com atenção a
realidade escondida a partir da
beleza da visão de um turista
encontrará a verdade*

RESUMO

O século XXI representa uma era de grandes transformações tecnológicas com reflexo no cotidiano e principalmente nas tecnologias educacionais. Esta transformação propiciou o desenvolvimento de aplicativos educacionais gradativamente sendo integrados no processo de aprendizagem, mas carecendo de uma análise quantitativa de sua eficiência. Na última década, os dispositivos de eletroencefalograma, antes utilizados exclusivamente na área médica, começaram a ser adaptados e disponibilizados para o mercado consumidor, assim possibilitando a sua utilização para a análise dos instrumentos educacionais. Logo, a inserção das tecnologias na sociedade e estendendo-se quando possível a educação, mesmo que de forma precária, não refletiu em uma melhor qualidade de ensino proporcional a sua evolução. Prontamente, é possível refletir que o modelo de ensino em si não evoluiu de forma efetiva e proporcional com a evolução tecnológica nas últimas décadas, mas apenas se adaptou às tecnologias. Conseqüentemente, a partir do estudo do funcionamento do cérebro, busca-se compreender o seu processo de aprendizagem, não limitado a respostas imediatas de um simples teste, no qual a vivência do aluno ou prévio conhecimento poderá interferir em sua resposta, ***mas a sua compreensão indireta, a partir da análise qualitativa e quantitativa do comportamento do cérebro durante o processo de aprendizagem com o uso do eletroencefalograma***, para assim desenvolver tecnologias com maior assertividade na construção do conhecimento. O desenvolvimento da análise quantitativa da ativação neural, ocorre a partir da criação de uma metodologia de testes com o uso do eletroencefalograma (EEG) e rastreamento ocular aplicado a instrumentos educacionais integrados de forma nativa ao AVA D2L Brightspace. Esta metodologia inicia-se a partir da homogeneização previa das ativações neurais do sujeito, com a indução da equalização das ondas neurais, estendendo-se a sua quantificação. O modelo matemático desenvolvido para a quantificação matemática do cérebro, é realizado a partir da análise individual de cada lobo bem como o seu respectivo efeito relacional aos lobos vizinhos com a atenuação de eventuais artefatos não inerentes a pesquisa. Esta quantificação é realizada a partir do mapeamento individual de cada lobo, proveniente dos sensores do eletroencefalograma ali presentes, bem como a sua respectiva relação matematicamente proporcional a ativação das demais áreas cerebrais. Esta quantificação é relacionada de forma qualitativa ao rastreamento ocular do estudante durante o processo de análise do instrumento de aprendizagem baseada em *Design Thinking*, com o uso de Inteligência Artificial e comparada com dados pré-processados pelo fabricante do EEG. A partir desta análise, é proposto uma metodologia baseada em *Design Thinking* de forma assíncrona ao LMS D2L Brightspace que permeia desde o desenvolvimento de animações a avatares gerados por Inteligência Artificial simulando o comportamento humano e a troca de experiências/opiniões entre pessoas, criando assim um júri popular assíncrono. Como resultado desta pesquisa encontra-se o desenvolvimento e validação de um protocolo de utilização do EEG para análise de instrumento educacional, modelo matemático neural para a análise de correlação entre lobos cerebrais, software para a análise de dados neurais com base em *BigData*, o desenvolvimento e validação do conceito de *Design Thinking* aplicado a ambiente online de aprendizagem de forma assíncrona com a utilização de animações e avatares gerados por Inteligência Artificial entre outros.

Palavras-chave: Metodologia Educacional; Eletroencefalograma; Design Thinking; Inteligência Artificial; Rastreamento Ocular

ABSTRACT

The 21st century represents an era of major technological transformations reflected in everyday life, especially in educational technologies. This transformation has led to the development of educational applications that are gradually being integrated into the learning process; however, they lack a quantitative analysis of their efficiency. In the last decade, electroencephalogram devices, previously used exclusively in the medical field, began to be adapted and accessible to the consumer market, enabling their use for the analysis of educational tools. Therefore, the insertion of technologies into society, extending it to education whenever possible, even if precariously, has not led to a better quality of teaching in proportion to its evolution. It is readily possible to ponder that the teaching model itself has not evolved effectively and proportionally to the technological development in recent decades, but has merely adapted to technologies. Consequently, by studying how the brain works, we aim to understand its learning process, not limited to the immediate answers of a simple test, in which the student's experience or previous knowledge may interfere with their answer. Instead, we refer to its indirect understanding, from the qualitative and quantitative analysis of how the brain behaves during the learning process with the use of the electroencephalogram, in order to develop technologies with greater assertiveness in the construction of knowledge. The development of the quantitative analysis of neural activation occurs through the creation of a testing methodology using the electroencephalogram (EEG) and eye tracking applied to educational tools natively integrated to LMS D2L Brightspace. This methodology starts from the previous homogenization of the subject's neural activations, with the induction of the equalization of neural waves, extending to their quantification. The mathematical model developed for the mathematical quantification of the brain is carried out based on the individual analysis of each lobe as well as its respective relational effect to neighboring lobes with the attenuation of any artifacts not inherent in the research. This quantification is performed through the individual mapping of each lobe using data from the electroencephalogram sensors, as well as their respective mathematically proportional relationship to the activation of the other brain areas. This quantification is qualitatively related to the student's eye tracking during the analysis of the learning tool based on Design Thinking, using artificial intelligence and compared to pre-processed data from the EEG manufacturer. From this analysis, we propose a methodology based on Design Thinking, asynchronously integrated into the D2L Brightspace LMS. This methodology encompasses everything, from the development of animations to AI-generated avatars simulating human behavior and the exchange of experiences/opinions among people, thereby creating an asynchronous popular jury. The results of this research present the development and validation of a protocol for the use of EEG in the analysis of an educational tool, a neural mathematical model to analyze the correlation between brain lobes and a software to analyze neural data based on BigData. They also show the development and validation of the concept of Design Thinking applied to an online learning environment asynchronously using animations and avatars generated by artificial intelligence, among others.

Keywords: Educational Methodology, Electroencephalogram, Design Thinking, Artificial Intelligence, Eye Tracking

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Comparação dos diferentes dispositivos EEG	30
Figura 2 - Neurosky Mindwave.....	30
Figura 3 - Teste do Emotiv Pro+ na análise dos sinais neurais e o seu pré-processamento.....	32
Figura 4 - Imagem adaptada a partir do software Emotiv Pro+	34
Figura 5 - O olho humano em corte lateral.....	35
Figura 6 - Vistas de topo e lateral respectivamente dos músculos extraoculares.....	36
Figura 7 - Diagrama de aquisição e análise de dados Ergoneers.....	39
Figura 8 - Equipamentos de Rastreamento Ocular Tobii	40
Figura 9 - Fases globais de aplicação do projeto de pesquisa	44
Figura 10 - Imagem representativa do processo de desenvolvimento do projeto de tese	46
Figura 11 - Identificação de contato dos sensores	47
Figura 12 - Imagem das telas de configuração	55
Figura 13 - Imagem das telas de instalação	56
Figura 14 - Imagem representativa do processo de Teste	61
Figura 15 - Cenas da animação.....	65
Figura 16 - Avatar desenvolvido por IA (Maria Culpada)	69
Figura 17 - Avatar desenvolvido por IA (Bandido Culpado).....	70
Figura 18 - Avatar desenvolvido por IA (João Culpado)	71
Figura 19 - Avatar desenvolvido por IA (Paulo Culpado)	72
Figura 20 - Avatar desenvolvido por IA (Barqueiro Culpado)	73
Figura 21 - Avatar desenvolvido por IA (Amigo Culpado)	74
Figura 22 - Questão de correspondência na D2L Brightspace	76
Figura 23 - Realização de piscadas pelo indivíduo	77
Figura 24 - Estado anterior à execução da música	79
Figura 25 - Estado neural de equalização	80
Figura 26 - Movimentos voluntários acompanhando a música no EEG Emotiv Pro+	83
Figura 27 - Entrada de dados no software EEG Data Analysis desenvolvido pelo autor	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela descritiva criada a partir das informações do Emotiv Pro+ e sua relação ao pré-processamento disponibilizados pela API. Fonte: (Emotiv Gitbook, S.I.).	32
Tabela 2 - Tabela de comparação técnica entre equipamentos. Fonte: elaborado pelo autor	33
Tabela 3 - Sensor Emotiv Pro+ correspondente a cada lobo cerebral. Fonte: elaborado pelo autor.	34
Tabela 4 - Tabela comparativa do modo de visualização de dados. Fonte: elaborado pelo autor.	49
Tabela 5 - A média da variação do sinal de todos os participantes de acordo com cada caso descrito anteriormente. Fonte: elaborado pelo autor.	81
Tabela 6 - Comportamento do EEG no tempo. Fonte: elaborado pelo autor.	84
Tabela 7 - Tabela de análise da ativação relacional do lobo de referência, sendo ele de maior intensidade individual. Fonte: elaborado pelo autor.	89
Tabela 8 - Média dos dados gerados pelo Emotiv nas diferentes etapas do teste de hipótese proposto.	91
Tabela 9 - Número de ocorrências de cada personagem em seu respectivo nível de culpa na primeira pergunta.	95
Tabela 10 - Porcentagem de ocorrências de cada personagem e seu respectivo nível de culpa na primeira pergunta. Fonte: elaborado pelo autor.	95
Tabela 11 - Número de mudança de opinião em cada questão considerando a resposta da questão anterior.	95
Tabela 12 - Análise quantitativa do comportamento do voluntário durante o teste. Fonte: elaborado pelo autor.	96
Tabela 13 – Compilação dos principais argumentos das perguntas dissertativas. Fonte: elaborado pelo autor.	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AVA – Ambiente Virtual de Aprendizagem
- BCIs – Brain Computer Interfaces
- CSV – Comma Separated Value
- EEG – Eletroencefalografia
- HTML – HyperText Markup Language
- LMS – Learning Management System
- NEUROSKY – EEG comercial para captação de ondas cerebrais
- PISA - Programme for International Student Assessment
- PPGIE - Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação
- TDAH – Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade
- UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	20
1.2 Problema de Pesquisa.....	21
1.3 Objetivos	21
1.3.1 Objetivo Geral.....	21
1.3.2 Objetivos Específicos.....	21
1.4 Hipóteses	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1 Design Thinking.....	23
2.1.1 <i>Design Thinking</i> e a Educação	24
2.2 O Cérebro e a Neuroeducação.....	26
2.2.1 O Cérebro e a Aprendizagem	27
2.2.2 O Cérebro e os Transtornos de Aprendizagem	28
2.3 O Eletroencefalograma.....	29
2.3.1 Eletroencefalogramas Disponíveis Comercialmente	29
2.3.2 Sensor NeuroSky Mindwave.....	30
2.3.3 Eletroencefalograma Aplicado ao Emotiv Epoc +.....	31
2.3.4 Comparação Técnica entre Equipamentos de EEG	33
2.3.5 A Relação do Cérebro e o Emotiv Pro+.....	33
2.4 A Biologia Ocular	35
2.4.1 O Controle Muscular do Olho Humano	35
2.4.2 O Olho Humano e a Pupila	36
2.4.3 A Análise da Pupila e sua Resposta Fisiológica Comportamental	37
2.4.4 O Rastreamento Ocular	37
2.4.5 Equipamento para Rastreamento Ocular.....	38
2.5 Trabalhos Relacionados	40
2.5.1 O Eletroencefalograma Aplicado à Educação.....	40
3 MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1 Metodologia de Pesquisa.....	44
3.2 Protocolo de Preparação do Emotiv Pro+	47
3.3 Método de Análise dos Dados Estatísticos	48
3.3.1 Dados e Informação	48

3.3.2 Modelagem Matemática de Quantificação de Ativação Neural com o uso do EEG	50
3.3.3 Modelo Matemático Proposto	50
3.3.4 <i>Software</i> de Análise de Dados.....	53
3.4 Equipamentos Utilizados	56
4 HIPÓTESE DA PESQUISA	58
4.1 Teste da Hipótese - Equalização Neural.....	58
4.1.1 Materiais e Métodos	59
4.1.2 Processo Anterior ao Experimento.....	59
4.1.3 Processo do Experimento	59
4.1.4 Orientação ao Voluntário	59
4.1.5 Preparação da Sala para a Coleta de Dados	60
4.1.6 Processo de Execução do Teste de Equalização Neural	60
4.2 Teste da Hipótese - Análise do Instrumento Educacional.....	62
4.2.1 Materiais e Métodos	62
4.2.2 Trilha de Aprendizagem Baseado em <i>Design Thinking</i>	63
4.2.3 Vídeo Animado	64
4.2.3.1 <i>Descrição das Cenas</i>	65
4.2.4 Questionário	67
4.2.4.1 <i>Descrição do Questionário</i>	68
4.2.5 Dados Analisados Durante o Teste	76
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES DE HIPÓTESES PROPOSTOS	77
5.1 Resultado do Teste da Hipótese - Equalização Neural.....	77
5.1.1 Movimentos Involuntários	77
5.1.2 Resposta Neural Anterior ao Estado Proposto	78
5.1.3 Resposta Neural Posterior ao Estado Proposto	79
5.1.4 Análise Bruta dos Dados	80
5.2 Resultados e Conclusões do Teste da Hipótese - Instrumento Educacional	82
5.2.1 Análise Qualitativa Geral do Comportamento do Voluntário Durante o Teste	82
5.2.1.1 <i>Etapa de Equalização</i>	82
5.2.1.2 <i>Etapa de Visualização do Vídeo</i>	84
5.2.1.3 <i>Etapa do Questionário</i>	85
5.2.1.4 <i>Observações Qualitativas Gerais</i>	86
5.2.2 Análise Quantitativa do EEG a Partir do Modelo Matemático Proposto.....	88

5.2.3 Análise Quantitativa do EEG a partir do Fabricante Emotiv Pro+	91
5.2.4 Análise Quantitativa e Qualitativa do Questionário.....	94
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	100
6.1 Resultado Geral do Primeiro Teste de Hipótese	100
6.2 Resultado Geral do Segundo Teste de Hipótese	101
7 CONCLUSÃO	104
8 RECOMENDAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	108
REFERÊNCIAS	109

1 INTRODUÇÃO

O século XXI representa uma era de grandes transformações, na qual há uma massificação de dados à disposição, o chamado *Big Data*, o que vai além da simples era digital, pois há, também, mudanças culturais com o uso de tecnologias no cotidiano. A era digital transformou encontros antes realizados em bares ou cafés, para discussões de temas pertinentes ao seu tempo, em locais virtuais, sejam *chats* ou redes sociais. Todas essas mudanças geram uma massa de dados armazenadas na conhecida “nuvem”, carecendo de um profundo estudo para transformar esses dados sem significado em informação. A partir dessa premissa, pode-se afirmar que foi iniciada a transformação de uma sociedade geradora de dados para uma sociedade geradora de informação, uma sociedade tecnológica/cultural.

A transição de uma sociedade analógica para uma geradora de dados digitais afeta não somente a sociedade, mas o processo de ensino e aprendizagem e, conseqüentemente, a educação. Nas últimas décadas, houve a transição de um mundo analógico, no qual a informação era proveniente, majoritariamente, de livros físicos, jornais e revistas, para a era digital; com isso, a população possui acesso à informação, muitas vezes superficial, de forma imediata, não carecendo de um profundo estudo em relação a um tema específico para sua compreensão, já que todo esse processo se encontra disponível, previamente realizado, por Inteligência Artificial, ao alcance das mãos.

A evolução tecnológica estendeu-se para a área de pesquisa no decorrer das últimas décadas de forma substancial, pois anteriormente os dados eram coletados com baixa precisão e de forma manual, suscetíveis a erros humanos, não havendo integração a sistemas inteligentes de coleta de dados. Com o avanço da tecnologia, foi possível, para grande parte das instituições de ensino, o acesso a equipamentos de maior precisão, integrados a sistemas de coleta e análise de dados, de forma preemptiva, a partir do uso da automatização e da Inteligência Artificial. Apesar disso, somente uma pequena parte desses equipamentos encontra-se disponível para a utilização em sala de aula, seja devido ao seu alto custo ou, simplesmente, pelas dificuldades de grande parte dos educadores em desenvolverem disciplinas inovadoras mais próximas da realidade pós-universidade, seja devido ao não conhecimento ou simplesmente desinteresse no desenvolvimento do modelo de ensino e aprendizagem mais eficaz. Logo, esse perfil de professor, com base de formação conservadora, traz à tona antigos questionamentos de como devemos construir o conhecimento da nova geração de alunos digitais, preparando-os para o mercado de trabalho a partir de uma formação ortodoxa de professores, predominantemente analógica e desinteressada no desenvolvimento de técnicas ou pesquisas educacionais do

mundo moderno; entretanto, estes são os responsáveis pelo desenvolvimento e pela formação de profissionais da era digital.

A informação neste século é em sua maior parte transferida para a população de forma superficial, em que o aluno, apesar de ter acesso a conteúdos de forma imediata, carece de profundidade, estudo ou análise adequada do tema a ser estudado. Esse fato pode ser observado no comportamento dos adolescentes atualmente.

O adolescente em período escolar carece de argumentos ou críticas construtivas em relação a um tema a ser discutido em sala de aula, pois não há pilares sólidos na construção do seu conhecimento, não havendo reflexão do tema e sim apenas replicação de rótulos, resumos ou críticas previamente analisadas por alguém ou pela Inteligência Artificial. Isso provavelmente ocorre devido à educação não ser baseada em desafios, resoluções de problemas e estar aquém da realidade do aluno e da sociedade.

As limitações das crianças e dos adolescentes em possuir pensamento crítico construtivo provavelmente seja a resposta do processo de ensino baseado na passagem do conhecimento e não na sua construção. Diferentes sistemas de ensino internacionais buscam diferentes formas de criar um sistema educacional mais eficiente e preparatório para uma vida em sociedade, com premissas mais próximas a problemas sociais, que abrangem desde tarefas domésticas a controle financeiro. Essas escolas criam aulas multidisciplinares/interdisciplinares/transdisciplinares de acordo com a sua respectiva necessidade, culturalmente integradas não somente com o amanhã, mas com os valores sociais de momentos históricos. Para a realização dessas aulas, são criadas assembleias, compostas por alunos e intermediada por professoras, com o objetivo de discutir temas a partir de valores sociais de um respectivo período histórico, posteriormente comparados aos valores atuais. Entre outras ações pedagógicas internacionais aplicadas em escolas, encontram-se a sala de aula invertida, na qual o professor possui um papel moderador e os alunos contribuem com a construção do conhecimento de seus colegas, *Design Thinking*, desenvolvendo a aprendizagem a partir da resolução de problemas, aprendizagem baseada em sobrevivência em locais de difícil adaptação, responsabilidade e direitos do cidadão, entre outros.

De acordo com os dados informados pelo INEP, o Brasil encontra-se entre os piores índices educacionais quando em comparação aos demais países que realizam a prova do PISA, em todo o mundo. A prova do PISA é realizada a cada três anos, e em suas últimas realizações, o Brasil continua com índices muito inferiores a países desenvolvidos, mesmo com o valor de investimento por estudante não ser proporcionalmente equidistantes aos demais países da média internacional. No ano de 2023, o Brasil classificou-se na posição 53° dentre os 65° países

avaliados na prova do PISA, que contou, inclusive, com alunos considerados da classe mais rica brasileira, com acesso às melhores escolas e tecnologias; estes mostraram notas inferiores à média internacional, evidenciando que somente o acesso a tecnologias e à informação não é suficiente para a efetividade do ensino. Se analisarmos anos anteriores, o Brasil, em 2018, encontrava-se com índice em matemática abaixo de países como a Jordânia, com constantes problemas políticos e militares no mundo, estando entre as 10 últimas colocações no *ranking* internacional. Esse processo de precarização do ensino pode ser visto, também, em edições anteriores, como no ano de 2015, em que o Brasil se encontrava em 65º lugar entre as 70 nações avaliadas em matemática, estando com índices equivalentes a Kosovo e muito abaixo da média mundial. Apesar dos efeitos da pandemia não causarem grandes impactos nas notas do PISA, neste primeiro momento, é importante analisarmos o seu efeito ao longo do tempo, contemplando o fato de o Brasil estar em uma das piores classificações internacionais, tornando a sua estagnação ou leve melhora algo insignificante, pois não o retira da categoria de um dos piores países no mundo no que tange à educação a partir desse índice internacional. A partir da análise histórica do país, que se encontra em constante estagnação ou queda dos índices educacionais, é possível afirmar que a era digital não contribuiu com o desenvolvimento escolar no país, mesmo se analisarmos a fatia mais rica da sociedade brasileira.

Em relação ao Brasil, apesar de estar inserido na era digital, é possível afirmar que ela não está inserida no país, no que tange a área educacional, do ponto de vista dos modelos de ensino e aprendizagem e equipamentos modernos. Se realizarmos uma análise das imagens de uma sala de aula a 100 anos atrás e compará-las com os dias atuais, é possível afirmar que o papel do professor e a estrutura de quadro e giz pouco mudou, independentemente da grande evolução tecnológica. Apesar disso, mesmo com o acesso do aluno de forma mais imediata à informação, seja ela por meio de bibliotecas *on-line* ou redes sociais, não houve interferência de forma positiva e proporcional na qualidade do ensino, de acordo com os índices internacionais. A evolução tecnológica em sala de aula limita-se ao uso de apresentações digitais, envio de material por *e-mail*, interação com mesa tátil, uso de computadores e dispositivos móveis, porém, apesar do modo de apresentação do conteúdo ter se adaptado à era digital, o ensino em si baseia-se na mesma premissa, a simples passagem de conhecimento e não a sua construção.

O sistema educacional e seus modelos de ensino não evoluíram proporcionalmente à inserção das tecnologias na vida social e educacional do estudante, o que se justifica pelo fato de que **o processo de ensino em si não evoluiu, mas apenas se adaptou parcialmente às tecnologias atuais**. A premissa de transformar o livro físico em digital, a lousa com giz em

lousa digital ou a ação de reproduzir um vídeo antes em VHS agora em *stream* não remove a essência de que o livro, a lousa ou o vídeo continuam com a mesma função, eventualmente com resultados diferentes, pois o meio de reprodução poderá ser um fator motivacional no processo de aprendizagem.

Apesar das diversas tecnologias que facilitam a vida da civilização moderna, existe a carência de uma análise qualitativa e quantitativa do processo de aprendizagem, tanto em velocidade quanto em qualidade, em comparação aos processos atuais. Neste momento, é necessário repensar seriamente a didática e os modelos aplicados na educação e não apenas se limitar a adaptações do que já é de notório saber. A educação presencial e a distância começam a ser fortemente modificadas, em que toda a estrutura de ensino, instituições, professores e alunos são constantemente desafiados a encontrarem novos modelos de ensino a serem aplicados na era digital. Esses modelos têm como base a resolução de problemas a partir do conceito de *Design Thinking*, gamificação aplicada no processo e no desenvolvimento individual ou coletivo do estudante, bem como o seu desenvolvimento de forma humanística na formação de um cidadão. Logo, as tecnologias colocam em dúvida o conceito tradicional de sala de aula, de ensino e de organização tendo como foco o modo de como fazer a educação.

O conceito de aula, aplicado à sala de aula tradicional, está em constante adaptação. Hoje, ainda é aceito e aplicado o conceito de sala de aula como sendo um espaço físico que contempla um professor em um determinado tempo como orador principal, apesar de os alunos pertencerem a diferentes gerações, com as mais diversas formas de interação, seja por meio físico ou virtual. Mas, esse tempo, modo e espaço estão cada vez mais flexíveis. O professor continuará a “ministrar a sua aula”, de forma menos informativa e mais gerenciadora, utilizando as possibilidades que as tecnologias dispõem em diferentes momentos de aprendizagem. Logo, ocorre a necessidade, cada vez mais acentuada, de alunos e professores estarem presentes em diferentes espaços e tempos, nos quais a colaboração é realizada de forma assíncrona e de diferentes formas. Assim, tanto professores quanto alunos poderão estar motivados se compreenderem a “aula” como sendo um **local de pesquisa/intercâmbio** e não mais como simples absorção mecânica de conhecimento. Nesse processo, o papel do professor vem sendo redimensionado, tornando-se um gestor, moderador e incentivador no contexto instigante na busca do conhecimento e do desenvolvimento humano.

As ferramentas para a realização da educação em formato digital estão presentes no cotidiano de uma considerável parcela de alunos, quando comparadas a décadas anteriores, apesar de se fazer necessária uma análise qualitativa de utilização e efetividade dessas ferramentas durante o processo de aprendizagem. Os índices de aprendizagem internacionais

como o PISA demonstram que, mesmo com o uso e o avanço da tecnologia nos últimos anos, com o acesso facilitado à informação, não refletiu proporcionalmente em um ensino/aprendizado de melhor qualidade. A partir dessa afirmação, a realização de uma análise neural, tal como nos níveis de atenção, interesse, foco, bem como a resposta corporal do aluno durante o seu processo de aprendizagem, poderá fornecer informações qualitativas e quantitativas das ferramentas educacionais de maior efetividade no processo de construção do saber.

A análise do comportamento humano no processo de aprendizagem é extremamente importante por ser atemporal e de fundamental importância, pois vai além da tecnologia e sim na essência do desenvolvimento humano, visto que a compreensão do seu funcionamento propiciará a adaptação do ensino, independentemente da evolução tecnológica. Se analisarmos as mudanças históricas da evolução tecnológica recente, a forma pela qual buscamos conhecimento/informação foi significativamente alterada nos últimos 30 anos, no Brasil e no mundo, limitando-se à adaptação, por não ser rápida o suficiente à sua respectiva evolução. Se realizarmos uma rápida análise nos últimos 30 anos, saímos da busca do conhecimento a partir de bibliotecas, na década de 1990, para a internet, de forma ampla e irrestrita, iniciada nos anos 2000, evoluindo à Inteligência Artificial com a interpretação de dados de forma direta após o ano de 2022. Logo, podemos prever que no futuro a busca por conhecimento a partir de ferramentas como o Google se tornará irrelevante, pois ela ocorrerá a partir de uma simples conversa entre homem e máquina, de forma orgânica, e integrada ao sistema operacional, no qual a Inteligência Artificial irá analisar os dados da internet e representá-los em uma linguagem interpessoal. A partir dessa reflexão, se retirarmos a IA para os futuros universitários, que desenvolveram a aprendizagem, o raciocínio lógico e a interpretação a partir do seu uso, bem como a internet e as ferramentas de busca para adultos acima de 25 anos, disponibilizando apenas livros físicos e bibliotecas, muito provavelmente terão dificuldades em desenvolver conhecimento sem suporte a tecnologias de suas respectivas gerações. Logo, pela primeira vez na história, a adaptação da tecnologia na educação se torna cada vez mais equidistante à sua evolução, adicionando-se, a isso, o fato de que a estrutura do ensino no Brasil possui alto grau de regulação e lenta adaptação, pois é como se ensinássemos o passado no presente em nossas universidades. Contudo, se compreendermos com maior efetividade o processo de aprendizagem a partir do comportamento humano, será possível desenvolver e/ou fazer uso das tecnologias com pilares sólidos, construindo conhecimento e trazendo, assim, uma evolução tecnológica/cultural atemporal na sociedade.

1.1 Justificativa

A educação brasileira, de acordo com os dados fornecidos pelo INEP nas últimas décadas, está entre os piores índices educacionais quando comparada aos demais países que participam da prova do PISA em todo o mundo. O fato de a educação não evoluir proporcionalmente à inserção das tecnologias na sociedade e, quando possível, na educação, mesmo que de forma precária, não resultou em uma melhor qualidade de ensino, mas sim em uma constante degradação da aprendizagem. Portanto, a partir dessa constatação, podemos refletir que **o processo de ensino em si não evoluiu nas últimas décadas, mas apenas se adaptou parcialmente às tecnologias atuais**. Transformar o livro físico em digital, a lousa com giz em lousa digital ou simplesmente substituir um vídeo em VHS por *streaming* não altera a essência de que o livro, a lousa ou o vídeo continuam com o mesmo efeito, apenas modificado o seu meio de reprodução.

Com essas informações, e considerando que a evolução tecnológica é mais rápida do que sua respectiva adaptação na educação, torna-se necessário compreender o comportamento humano no processo de aprendizagem com o uso da tecnologia, a partir de uma análise qualitativa e quantitativa, de forma biológica e atemporal.

A partir da análise do contexto nacional de aprendizagem, percebe-se que, embora parte dos estudantes tenha conhecimento sobre a utilização de dispositivos tecnológicos, isso não se reflete diretamente na melhoria do processo de aquisição do saber. Assim, busca-se, através do estudo do funcionamento do cérebro, compreender o processo de aprendizagem, não apenas a partir da resposta imediata de um simples teste, no qual a vivência do aluno ou seu conhecimento prévio pode interferir, mas sim por meio de uma **compreensão indireta, qualitativa e quantitativa, de como o cérebro se comporta durante o processo de aprendizagem**, para desenvolver tecnologias educacionais com maior assertividade na construção do conhecimento.

Para a realização da pesquisa, são utilizados o equipamento de rastreamento ocular Tobii Eye Tracker 5 e o eletroencefalograma (EEG) Emotiv Pro+ de 14 canais, devido à sua **validação em pesquisas médicas como substituto ao EEG tradicional NeuroScan em algumas patologias**.

1.2 Problema de Pesquisa

Esta tese tem como problemática o seguinte questionamento: de que forma é possível quantificar indiretamente o resultado da utilização de diversas tecnologias educacionais durante o processo de aprendizagem, a partir do uso de eletroencefalograma e rastreamento ocular, para a análise da resposta do estudante, de forma a aprimorar o processo de ensino e aprendizagem?

1.3 Objetivos

Os objetivos desta pesquisa foram divididos em gerais e específicos para melhor compreensão e integração com as diferentes etapas do projeto.

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia de pesquisa e análise de dados a partir do Eletroencefalograma (EEG) e rastreamento ocular no uso de tecnologias educacionais baseadas em *Design Thinking* em um LMS, de forma assíncrona.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Propor uma metodologia de análise qualitativa e quantitativa do Eletroencefalograma (EEG) e rastreamento ocular para a análise de uma determinada ferramenta educacional baseada em:
 - Aplicar padrões de estabilização neural;
 - Segmentar o cérebro em áreas de interesse;
 - Realizar a análise dos equipamentos disponíveis no mercado;
 - Realizar a análise das dificuldades inerentes à utilização dos dispositivos de EEG disponíveis;
 - Quantificar os sinais cerebrais estatisticamente;
 - Relacionar a ativação do cérebro com os dados pré-processados pelo EMOTIV;
- Avaliar os resultados obtidos após a aplicação do método proposto;
- Avaliar o uso de vídeo educacional baseado em *Design Thinking* (desenvolvido pelo autor) e Inteligência Artificial, integrados nativamente em um LMS;

1.4 Hipóteses

Hipótese 1

Existe a necessidade de uma **equalização prévia do sujeito antes de quaisquer pesquisas** com o uso de um equipamento de eletroencefalografia, a fim de evitar a análise de dados não inerentes à pesquisa.

Hipótese 2

Existe a necessidade de um processo de análise metodológica para a quantificação matemática de dados provenientes da eletroencefalografia (EEG) aplicada a instrumentos educacionais de aprendizagem baseados em *Design Thinking*, integrados ao LMS de forma assíncrona. Essa metodologia abrange uma análise quantitativa dos dados provenientes do EEG Emotiv Pro+, bem como a análise qualitativa do movimento ocular do estudante. A análise do movimento ocular ocorre devido ao fato que o estudante poderá estar com o foco/atenção em níveis elevados, porém não necessariamente estará associado a tecnologia educacional analisada, assim garantindo a correta análise de dados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Design Thinking

O *Design Thinking* pode ser visto como um processo de construção de uma nova solução a partir de uma visão interdisciplinar para um determinado problema, pois o desenvolvimento de uma solução inovadora parte da pluralidade de ideias.

Muitos são os conceitos encontrados para definir o *Design Thinking*. No entanto, para o autor Tim Brown (2010), “o *Design Thinking*, pode ser considerado como o pensamento do design, uma metodologia criativa e prática para a resolução de problemas e elaboração de projetos”.

A disposição e até a aceitação empolgada das restrições constituem o fundamento do *Design Thinking*. O primeiro estágio do processo de design costuma se referir à identificação das restrições mais importantes e à definição de critérios para sua avaliação. As restrições podem ser mais bem visualizadas em função de três critérios sobrepostos para boas ideias: praticabilidade, o que é funcionalmente possível num futuro próximo; viabilidade, o que provavelmente se tornará parte de um modelo de negócio sustentável; e desejabilidade, o que faz sentido para as pessoas. Brown (2020, p. 39)

A importância, bem como o diferencial do *Design Thinking*, baseia-se na construção de ideias e novas soluções, a partir da união interdisciplinar de diferentes pessoas das mais diversas áreas de atuação com um objetivo em comum, a resolução de um problema previamente proposto ou a criação/adequação de um determinado produto. Logo, a agregação de um maior número de pessoas nas mais diferentes áreas de atuação poderá tornar a solução encontrada mais efetiva e provavelmente mais plural. O processo de aplicação do *Design Thinking* encoraja a participação dos envolvidos a partir da união e da análise de diferentes ideias, em busca de uma solução híbrida, coletiva, unificada e geralmente interdisciplinar na construção da resolução de um problema proposto.

Os designers aprendem, no decorrer do tempo, a alinhar as necessidades dos seres humanos com os recursos tecnológicos disponíveis por meio de organização, intuição e habilidades para reconhecer os padrões existentes e, a partir disso, desenvolver novas ideias de cunho emocional e funcional (BROWN, 2010). O *Design Thinking* possui a habilidade de trabalhar interdisciplinarmente para compreender a diferença de um grupo interdisciplinar e multidisciplinar, pois no grupo multidisciplinar “cada indivíduo defende sua própria especialidade técnica” (BROWN, 2010, p. 28). Dessa forma, o *Design Thinking* pode ser aplicado em outras ciências, como nas áreas da psicologia, da engenharia e outras.

Brown (2020) afirma também que o *Design Thinking* colocará a praticabilidade, a viabilidade e a desejabilidade em harmonia na resolução de um problema, enquanto um

designer apenas encontrará a solução para cada um dos critérios. O *Design Thinking* tem o objetivo de desenvolver projetos que possam atender três dimensões, como a atenção ao ser humano, a atenção ao aspecto empreendedor e a atenção ao uso das tecnologias. Dessa forma, percebe-se que o *Design Thinking* foca nas necessidades reais e não em pressuposições estatísticas, preocupando-se em solucionar problemas de forma coletiva e colaborativa (PAIVA; ZANCHETTA; LONDONO, 2020).

Assim, o processo de *Design Thinking* buscará diversas soluções para um determinado problema, denominando-se o resultado do processo de produto, podendo este ser considerado a solução de um problema enfrentado, a partir da interação de três núcleos: a) o que as pessoas desejam; b) o que é possível tecnicamente; e c) o que é viável financeiramente.

Para Buchanan (2001), os produtos estão situados na vida das pessoas, da sociedade e da cultura dos povos, sendo necessário um design voltado ao ser humano, o que demanda novos tipos de conhecimento para que haja soluções de sucesso. Dessa forma, é necessário que haja uma conciliação das necessidades das pessoas com o que é tecnologicamente exequível, sendo preciso uma estratégia de negócios para que se possa convertê-las em oportunidades de mercado e valor para os clientes (BROWN, 2009).

Ainda, há três aspectos do *Design Thinking*: o cognitivo, o atitudinal e o interpessoal. O aspecto cognitivo compreende as lógicas indutiva, dedutiva e abdutiva. O aspecto atitudinal é demonstrado pela forma desafiadora e inspiradora que os designers encaram as restrições. Por fim, o aspecto interpessoal baseia-se na capacidade que o designer tem para praticar a empatia (MARTIN, 2006). Assim, o *Design Thinking* possibilita a entrega de projetos mais maduros, criativos e inovadores, colocando o indivíduo diretamente em contato com o aprendizado.

2.1.1 *Design Thinking* e a Educação

O ser humano busca constantemente, muitas vezes de forma involuntária, a sua respectiva zona de conforto, trilhando para si o caminho com maior grau de segurança e assertividade durante o seu processo de desenvolvimento, logo tornando o processo de inovação, e conseqüentemente o pensamento “fora da caixa”, questões que vão em desencontro a essa segura zona antes determinada. No momento em que o processo de ensino brasileiro somente se adapta às novas tecnologias sem criar mecanismos inovadores que resultem em respostas efetivas de aprendizagem, o que pode ser demonstrado a partir da análise histórica das avaliações do PISA no decorrer das últimas décadas, coloca-se em questionamento o modo

como se transmite o conhecimento, a metodologia utilizada e até mesmo o uso da tecnologia, pois a sua inserção, mesmo que de forma limitada, não demonstra ser eficaz.

Ao abordar o conceito de *Design Thinking* na educação, analisa-se o processo de design para criar e aprimorar diversas soluções para a resolução de problemas e a resolução de conflito e ideias, havendo a liberdade de errar e aprender com os erros, criar ideias, receber *feedback* de colaboradores e se reciclar, por assim dizer, frente a todo o processo. Assim, aplica-se o *Design Thinking* na forma de ensinar e aprender através das seguintes fases: descoberta, interpretação, evolução, experimentação e ideação (EDUCADIGITAL, 2014).

De acordo com uma pesquisa realizada por Pereira (2019), a vivência da prática do *Design Thinking* por educadores contribui na interação entre docente e discente durante as aulas. Esse recurso utiliza o *feedback* dos alunos a respeito do conteúdo transmitido, sendo esta uma ferramenta usada como facilitadora no processo de ensino e aprendizagem. Segundo Lopes (2016), o *Design Thinking* tem como propósito facilitar a resolução de problemas de forma interdisciplinar. Atualmente, isso tem sido utilizado no meio educacional, na formação de docentes, objetivando a coletividade na resolução de problemas em ambientes acadêmicos.

A descoberta é a fase em que se identifica o problema específico que deverá ser resolvido, construindo uma base sólida para a ideia existente, bem como uma melhor compreensão da situação. Nessa fase, a equipe é disposta, as fontes são identificadas, o roteiro de pesquisa é construído e o aprendizado com os respectivos especialistas e usuários são reunidos. Na fase da descoberta, inicia-se a interpretação, em que se tem uma clareza das percepções observadas e histórias são contadas, documentadas e compartilhadas, transformando *insights* em ações. Após, passa-se à fase de ideação, em que há uma valorização do pensamento expansivo, dando espaço para surgir novas ideias, o *brainstorming* é preparado e ideias promissoras são selecionadas. Depois tem-se a fase da experimentação, na qual ocorre a criação de protótipos e o ganho de *feedbacks*. Por fim, chega a fase da evolução, que se caracteriza pelo acompanhamento do aprendizado por meio da definição da equipe de sucesso; aqui, o progresso é documentado e os próximos passos são dados em conjunto de outras pessoas envolvidas (EDUCADIGITAL, 2014).

A partir dessa análise, torna-se evidente que ao limitar a solução da qualidade do ensino a profissionais de uma determinada área poderá tornar o processo do saber limitado, logo, pouco eficaz. Ao pensar em soluções inovadoras no âmbito educacional, é evidente a necessidade da criação e da análise de novas soluções educacionais interdisciplinares, a partir da utilização do *Design Thinking* como parte de um processo de desenvolvimento educacional, com maior pluralidade e melhor efetividade. A escolha do uso de um instrumento educacional baseado em

Design Thinking, construído de forma interdisciplinar, torna-se adequada a partir do momento que a sua efetividade é analisada e quantificada de acordo com diferentes áreas do conhecimento, da mesma forma em que foi concebido. Portanto, a pesquisa realizada poderá contribuir no desenvolvimento de futuros trabalhos, possibilitando a sua respectiva comparação a tradicionais métodos de ensino.

2.2 O Cérebro e a Neuroeducação

A compreensão do cérebro e suas estruturas são fundamentais para o estudo da neurociência e, conseqüentemente, da neuroeducação. Nesse sentido, o conhecimento dos aspectos anátomo-fisiológicos auxilia na compreensão do seu funcionamento integrado aos equipamentos que realizam a sua respectiva análise a partir do estudo educacional de um determinado evento.

As pesquisas relacionadas à neurociência aplicada à neuroeducação têm salientado para a importância da captação e do monitoramento de ondas cerebrais e seus estados afetivos, visando compreender o seu funcionamento com o objetivo de atingir melhores resultados nos processos de aprendizagem. Neste sentido, o potencial de desenvolvimento de pesquisa nessa área descreve que além de reconhecer os estados emocionais/mentais presentes em situações controladas, estudos associam determinados estímulos ao tipo de onda cerebral apresentada, bem como à avaliação de atividade neural, à relação com o estado afetivo e à possibilidade de modelagem do estado afetivo e mental desejado (ADAMOS, 2016; EHRLICH, 2019).

A identificação dos estados emocionais e a associação das ondas cerebrais verificadas pelo eletroencefalograma (EEG) podem auxiliar na implementação de processos de ensino-aprendizagem de maior performance para os indivíduos (LANGROUDI, 2018; LONGHI, 2007). Segundo Harrison (2013, p. 06):

A eletroencefalografia (EEG) fornece uma maneira pela qual podemos acessar e registrar atividade que pode ser usada para detectar estados emocionais. O uso de atividade elétrica do cérebro como uma forma de detecção de emoção está se tornando cada vez mais popular, pois não requer esforço físico do usuário. O uso de um EEG também permite que o sistema construa um modelo emocional em tempo real sem distrair o usuário de sua tarefa atual.

Identificar os estados mentais/emocionais dos indivíduos estudados envolvem pesquisas no âmbito das BCIs, *Brain Computer Interfaces*, e demanda a criação de protocolos, que não interferem na calibração *in vitro* do equipamento em si, mas na calibração do estado mental

como preparo para qualquer atividade de experimentação, principalmente em atividade espontânea (ADAMOS, 2016; MORAIS, 2016).

Segundo Chiaramonte (2010), a identificação de diferentes perfis intelectuais é importante para auxiliar educadores na utilização de ferramentas virtuais de aprendizagens adequadas no sentido de intervir no processo de ensino. Neste sentido, Nunes (2016) afirma que o mapeamento cognitivo cerebral, realizado a partir do eletroencefalograma, auxilia no estudo da compreensão do desenvolvimento intelectual de indivíduos durante o processo de aprendizagem.

De acordo com Spindola (2010), as pesquisas com o uso de eletroencefalograma – EEG aplicado na educação têm auxiliado no estudo da compreensão da aprendizagem humana a partir de experimentos que envolvem o ensino de conteúdos complexos e de raciocínio lógico-espacial. O experimento apresentou os diferentes padrões de ativação neural provenientes da apresentação de objetos visuais lógico-espaciais realizado com pessoas de diferentes áreas, humanas e exatas, de ambos os sexos, demonstrando que a formação do conhecimento e o esforço mental poderá levar a diferenças entre os grupos analisados. De acordo com Zaro & Spindola (2010), o uso da neurociência faz parte de um novo paradigma no desenvolvimento e na potencialização de técnicas pedagógicas mais eficazes e devidamente relacionada com o perfil dos estudantes. Os pesquisadores argumentam sobre a urgência de disseminar as potencialidades da neuroeducação e os seus possíveis impactos nas tecnologias educacionais contemporâneas. Apesar deste fato, uma década após essa afirmação, cada vez mais se torna evidente a importância desse estudo, porém pouco foi realizado de forma efetiva no período, possivelmente devido às dificuldades tecnológicas e interdisciplinares que são necessárias para a sua realização.

2.2.1 O Cérebro e a Aprendizagem

O principal órgão diretamente ligado à aprendizagem é o cérebro. Nele, é realizado o processamento das informações. Segundo Relvas (2010), quando um estímulo é ativado em uma determinada área, existem alterações em outras áreas cerebrais, pois o cérebro não funciona em partes isoladas. Dessa forma, as sinapses de decodificação, associação e a atividade motora de respostas são feitas e a aprendizagem é realizada.

De acordo com Fonseca (2011), para a aprendizagem acontecer é necessária a integração de quatro componentes cognitivos essenciais, como o *input*, responsável pela audição e visão. A cognição é encarregada pela atenção, memória, plasticidade, compreensão e outros aspectos.

A saída de dados compreende a leitura, a escrita, a fala, a resolução de problemas, dentre outras variáveis, em que a retroalimentação é responsável pela função de organizar, controlar e repetir.

Quando os componentes cognitivos não funcionam em perfeita conexão, existem os transtornos de aprendizagem, que são classificados por manuais internacionais de diagnósticos de doenças, como o CID-10 e o DSM-V. O transtorno relacionado à cognição, responsável pela atenção e memória, é o transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH).

2.2.2 O Cérebro e os Transtornos de Aprendizagem

O conhecimento dos transtornos de aprendizagem é um ponto importante a ser analisado para a compreensão dos possíveis problemas de desenvolvimento cognitivo relacionado ao cérebro e diagnosticado pelo EEG a partir de eventos dissonantes ao habitual.

O transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH) é um transtorno neuroeducacional que tem como característica a desorganização, a desatenção, a hiperatividade e a impulsividade em crianças, adolescentes e adultos. Esses fatores estão presentes no âmbito pessoal e escolar/profissional do sujeito, podendo afetar o desenvolvimento cognitivo e social do indivíduo em atividades diárias. Estudos mostram que existem causas genéticas e ambientais para o transtorno. De acordo com Rotta e colaboradores (2016), algumas pesquisas sobre o transtorno apresentam a hereditariedade como um componente importante: a genética compreende 25% dos familiares de primeiro grau. Outro fator que colabora são as causas ambientais e, segundo Rohde (2019), o tabagismo materno, complicações no parto e a exposição a toxinas são os principais fatores.

A aprendizagem acontece quando os estímulos recebidos são interpretados, decodificados e assimilados. As dificuldades de aprendizagem estão relacionadas à lesão cortical, pois quando estímulos são analisados de forma equivocada, a falta de integridade cortical determina uma pobre interpretação dos estímulos e menor capacidade cognitiva (RELVAS, 2010). Segundo Borja e Ponde (2009), estudos mostram alterações no córtex pré-frontal e funções executivas da memória de trabalho associadas ao transtorno de déficit de atenção e hiperatividade. Essas alterações estão relacionadas à desatenção, hiperatividade, impulsividade, desorganização e inibição social.

O estudo realizado por Badcock (2013) sugere que o equipamento Emotiv EPOC é recomendado para o processo de diagnóstico de alguns distúrbios cognitivos, como o transtorno de déficit de atenção e hiperatividade, e essa análise é realizada com menor nível invasivo em comparação com o NeuroScan, em ambiente hospitalar.

2.3 O Eletroencefalograma

O eletroencefalograma (EEG) baseia-se na análise elétrica, com diferenças de potencial elétrico, da atividade neural refletida pelos neurônios a partir de sensores posicionados no couro cabeludo. A tecnologia utilizada pelo EEG é uma ferramenta útil para pesquisas baseadas em evidências. Os sensores portáteis utilizados para a realização do EEG registram sinais elétricos cerebrais a partir do contato com o couro cabeludo e essa representação ocorre em forma de gráficos, em que o sinal elétrico cerebral é demonstrado de forma visual a partir da respectiva intensidade das ondas cerebrais em amostragem previamente definida. Esses sinais são transferidos a partir dos sensores para o computador, de forma digital. Os dados são inicialmente gravados de forma independente, em cada um dos canais, em formato *RAW Mode*, sem qualquer análise prévia realizada pelo *software* ou usuário. A partir desses dados é possível identificar as áreas cerebrais ativadas bem como a sua intensidade de forma tridimensional, a depender do número de sensores utilizados no experimento e o método de visualização, seja ela gráfica, tridimensional ou tabular.

2.3.1 Eletroencefalogramas Disponíveis Comercialmente

Atualmente, há poucos eletroencefalogramas disponíveis comercialmente, destacando-se o NeuroSky e o Emotiv. O NeuroSky possui, essencialmente, um único sensor, capaz de informar os níveis de atenção do indivíduo com baixa precisão e majoritariamente limita-se a pesquisas qualitativas, não sendo utilizado para diagnóstico de patologias médicas. O Emotiv possui diversas variações entre os seus produtos, que vão além de um simples equipamento qualitativo por informar os dados brutos e individuais de cada sensor, além de oferecer uma interpretação por parte da sua biblioteca de desenvolvimento (API).

Os *headsets* Emotiv Epoc+ e NeuroSky diferem-se em termos de resolução e aplicação. O NeuroSky é utilizado predominantemente em caráter recreativo, educativo ou experimental por disponibilizar apenas um sensor com foco em atenção; o Emotiv poderá ser utilizado em caráter de pesquisa por disponibilizar *headsets* com 5, 14 e 32 canais, de acordo com a necessidade do usuário. O Emotiv PRO+ de 14 e 32 canais é recomendado para utilização na área de pesquisa quantitativa e eventualmente médica, visto que possui validação na área de diagnóstico médico para algumas patologias. Logo, comprova-se que os dados inerentes do equipamento e sua biblioteca podem substituir o EEG utilizado em hospitais para determinadas patologias (BADCOCK; SWELLER, 2015).



Figura 1 - Comparação dos diferentes dispositivos EEG
Fonte: elaborado pelo autor.

2.3.2 Sensor NeuroSky Mindwave

O *headset NeuroSky Mindwave* é o eletroencefalograma (EEG) mais utilizado para fins de entretenimento e didáticos pedagógicos devido ao seu baixo valor de aquisição e acessibilidade em todo o mundo. O *NeuroSky* realiza somente a análise do sinal elétrico cerebral do lóbulo frontal do indivíduo, responsável pelo nível de atenção e tarefas de memória de curto prazo (NEUROSKY, 2019). Essa análise ocorre a partir do algoritmo comercial desenvolvido pela empresa, sendo capaz de quantificar de forma a reproduzir os *eSense Meters* disponíveis pela API. Deve-se salientar que o fato de ele ter somente um canal e ser utilizada uma métrica quantitativa desenvolvida pela empresa com o uso do *eSense*, limita-se à qualidade e efetividade dos dados, pois não há resolução e sensores de comparação para a análise de dados brutos e falsos positivos. A figura 2 ilustra o diagrama de funcionamento do *Neurosky Mindwave*.

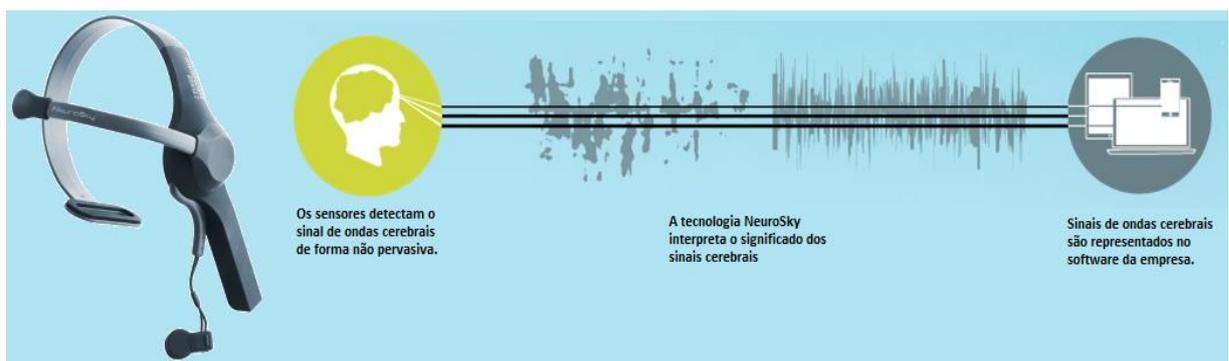


Figura 2 - Neurosky Mindwave
Fonte: (Neurosky, 2019).

O NeuroSky é utilizado essencialmente para jogos educativos e testes de atenção nas suas mais diferentes formas, porém carece de informações técnicas suficientes que possa garantir a precisão dos dados coletados, atentando-se à existência, ou não, de atenção por parte do indivíduo. O equipamento não fornece redundância de sensores, bem como taxa de erro associado. Logo, o NeuroSky possui o foco no entretenimento e poderá ser utilizado de forma segura em pesquisas com suporte de informação qualitativa.

2.3.3 Eletroencefalograma Aplicado ao Emotiv Epoc +

A utilização do Emotiv na quantificação dos sinais neurais se dá ao fato de possibilitar a sua utilização em ambiente não invasivo, não hospitalar, já que o meio não é um fator de influência nos dados analisados. De acordo com Badcock e Sweller (2015), o uso do Emotiv EEG em comparação ao tradicional Neuroscan para pesquisas na detecção de sons em crianças de 6 a 11 anos se torna possível, pois retrata, de forma similar, os respectivos testes, apesar de serem produtos com diferentes finalidades: o Neuroscan tem fins de diagnóstico médico e o Emotiv é usado para entretenimento ou pesquisa. Ambos os estudos retratam, de forma equivalente, as respostas neurais na pesquisa proposta. De acordo com Wang, S (2016), é possível analisar a carga de trabalho no acesso à memória a partir de dispositivos EEG sem fio com o uso do Emotiv, demonstrando a possibilidade de realizar a análise de dados com o uso de técnicas de reconhecimento em tempo real para monitoramento e identificação dos níveis de carga mental em uma ampla variedade de atividades cognitivas na sociedade moderna.

A versão Emotiv Epoc+ possibilita a análise individual de cada sensor *Raw Mode*, a partir de sua API, bem como o pré-processamento dos sinais na quantização dos itens descritos na Tabela 1 e na Figura 3. Devemos salientar que, de acordo com a equipe de suporte da empresa Emotiv, os seis elementos de pré-processados não possuem sensores específicos para cada elemento, pois foi utilizada aprendizagem de máquina com o uso de inteligência artificial para a sua realização, logo o seu algoritmo é de exclusividade da empresa.

Tabela 1 - Tabela descritiva criada a partir das informações do Emotiv Pro+ e sua relação ao pré-processamento disponibilizados pela API. Fonte: (Emotiv Gitbook, S.I.).

Estresse	O estresse é a medida de conforto em relação a um desafio proposto. Estresse elevado pode resultar em incapacidade ou dificuldade para completar uma tarefa, sensação de sobrecarga e temor das consequências negativas por não satisfazer os requisitos determinados. Geralmente, um nível baixo a moderado de estresse pode contribuir positivamente para a produtividade, enquanto um nível mais alto tende a ser destrutivo e pode ter consequências a longo prazo para a saúde e o bem-estar.
Engajamento	O engajamento é um estado de alerta consciente em resposta a estímulos relevantes de uma determinada tarefa proposta. Ele mede o nível de imersão, combinando índices de atenção e concentração, sendo o oposto do tédio. O envolvimento é caracterizado pelo aumento da excitação fisiológica e das ondas beta, juntamente com a atenuação das ondas alfa. Quanto maior a atenção, o foco e a carga de trabalho, maior será a pontuação de saída relatada pela detecção.
Interesse	O interesse é o grau de atração pelos estímulos do ambiente ou pela atividade realizada. Baixas taxas indicam uma forte aversão à tarefa, um alto interesse indica uma forte afinidade com a tarefa, enquanto pontuações médias indicam que a tarefa é considerada indiferente.
Excitação	A excitação é uma consciência ou sensação fisiológica resultante de uma ação de valor positivo. É caracterizada pela ativação do sistema nervoso simpático, o que provoca uma variedade de respostas fisiológicas, como dilatação das pupilas, alargamento dos olhos, estimulação das glândulas sudoríparas, mudança no ritmo cardíaco, aumento da tensão muscular e inibição do sistema digestivo. A detecção de excitação reflete mudanças de curto prazo nos itens mencionados anteriormente.
Foco	O foco é uma medida da atenção fixa em uma determinada tarefa. Ele avalia a profundidade e intensidade da atenção, bem como a frequência com que a atenção se desloca entre tarefas. Um alto nível de troca de tarefas indica falta de foco do usuário.
Relaxamento	O relaxamento é uma medida da capacidade de se desligar ou recuperar após um período de concentração intensa.

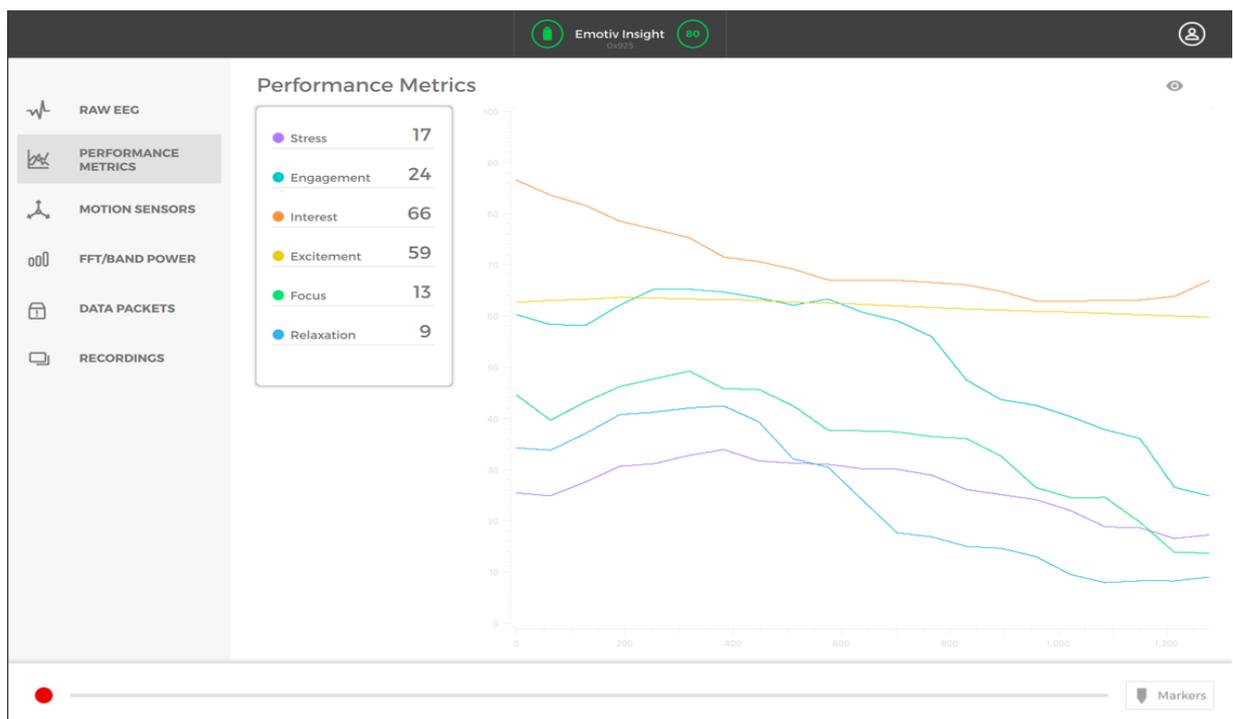


Figura 3 - Teste do Emotiv Pro+ na análise dos sinais neurais e o seu pré-processamento
Fonte: (Emotiv Gitbook, S.I.).

2.3.4 Comparação Técnica entre Equipamentos de EEG

A comparação dos equipamentos de EEG disponíveis no mercado não é uma tarefa trivial, pois requer conhecimento específico, que contempla desde a área médica estendendo-se a áreas das exatas. Para facilitar a interpretação das informações dos equipamentos disponíveis no mercado, foi realizada a análise técnica dos equipamentos em formato de tabela comparativa.

Tabela 2 - Tabela de comparação técnica entre equipamentos. Fonte: elaborado pelo autor

Características	Comparação entre dispositivos	
Equipamento	NeuroSky	Emotiv Epoc Plus
N Sensors	1 Channel	14 Channel
Sample Rate	128 times a second, or approximately once every 7.8 ms.	2048 internal, filtered and downsampled to 128 or 256 per sec per channel
Frequency Response	3 – 100Hz	0.16 – 43Hz, digital notch filters at 50Hz and 60Hz
Resolution	Communication framework Protocol: 12 and 8 bits raw Wave Value	14 bits with 1 LSB = 0.51 μ V (16 bit ADC, 2 bits instrumental noise floor discarded), or 16 bits
LSB (Least Significant Bit) Resolution	1mV	0.51 μ V @ 14 bit / 0.13 uV @ 16 bit
Dynamic Range	n/d	\pm 4.17 mV
Price	\$99,00	\$799,00 + Pro License

*Preferiu-se os termos em língua inglesa, original, visto que a tradução pode não contemplar o significado real.

2.3.5 A Relação do Cérebro e o Emotiv Pro+

A compreensão do funcionamento do cérebro e a utilização do Emotiv como ferramenta de análise de intensidade cerebral requer a identificação da posição de cada um dos sensores e sua relação com a fisiologia humana. Essa identificação é de suma importância para identificar quais sensores são essenciais para a pesquisa realizada, bem como a quantificação da relação entre diferentes áreas cerebrais para a modelagem estatística a ser empregada nos testes.

O cérebro é subdividido em diversas seções, e cada seção é responsável por controlar o funcionamento e as emoções do corpo humano. Cada lobo cerebral é responsável por uma

determinada tarefa, com efeito direto ou indireto em áreas subjacentes, de acordo com o desenvolvimento e a aprendizagem a curto e longo prazo durante a vida do indivíduo.

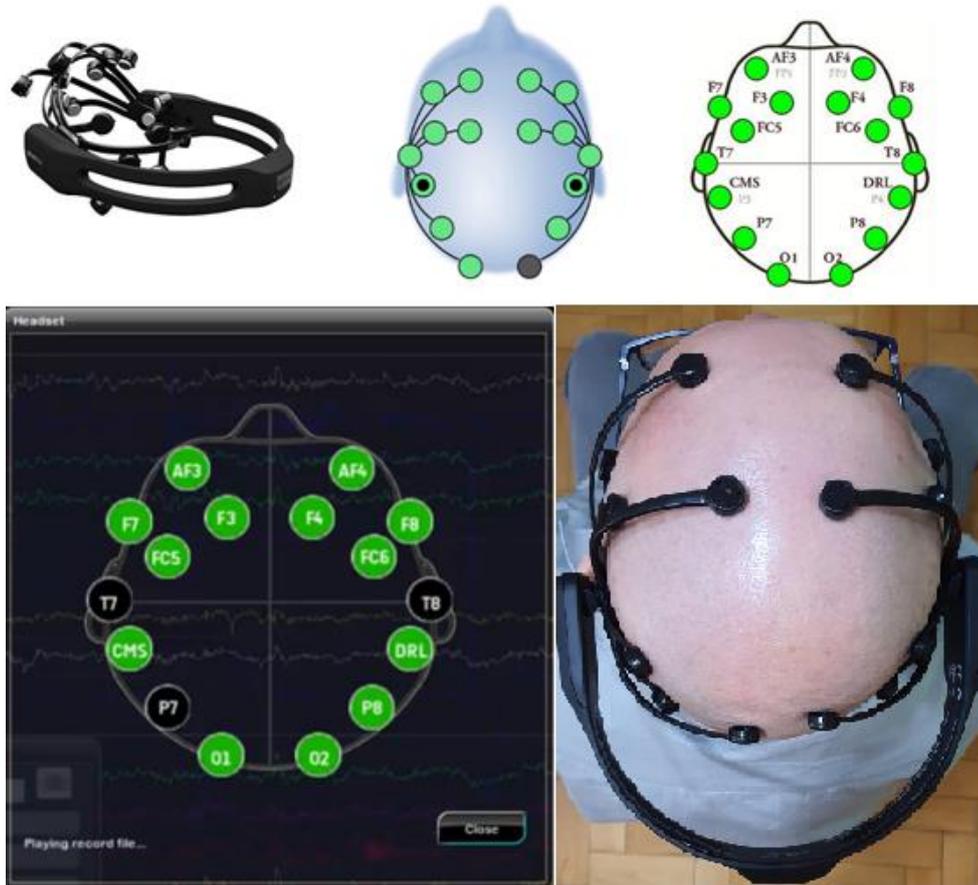


Figura 4 - Imagem adaptada a partir do software Emotiv Pro+
Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Sensor Emotiv Pro+ correspondente a cada lobo cerebral. Fonte: elaborado pelo autor.

Lobo cerebral	Função	Sensor
Lobo parietal	Coordenação – fina e ampla Sensorial	F7, F8, FC5, FC6
Lobo temporal	Informações auditivas Compreensão da linguagem (Área Wernick) Audição Memória auditiva	T7, CMS, T8, DRL
Lobo occipital	Memória visual Denominação de objetos Movimento ocular	P7, P8, O1, O2
Lobo frontal	Atenção Raciocínio Cognição Movimento ocular	AF3, AF4, F3, F4

2.4 A Biologia Ocular

O olho humano é responsável pela formação e detecção de imagens, desenvolvendo funções tanto ópticas quanto neurais. As imagens formadas no olho são projetadas, focalizadas, detectadas, digitalizadas, pré-processadas, codificadas e transportadas por sinais elétricos até o cérebro.

As câmeras digitais e os olhos possuem características semelhantes. Os dois sistemas possuem um conjunto de lentes, controle de abertura, transdução e digitalização da imagem em sinais elétricos.

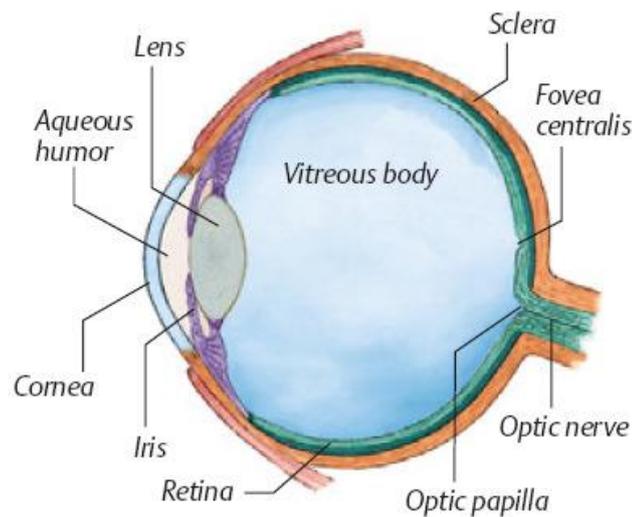


Figura 5 - O olho humano em corte lateral
Fonte: DESPOPOULOS, 2003.

2.4.1 O Controle Muscular do Olho Humano

O olho humano possui a capacidade de se mover em todas as direções. Tais direções somente são possíveis pelo fato de o olho ser controlado por seis músculos extraoculares, quatro denominados retos e dois músculos oblíquos. Considerando os três eixos (vertical, horizontal e sagital), são seis os movimentos do globo ocular (KAHLE,2003):

- **Adução:** rotação em torno do eixo vertical em direção ao nariz;
- **Abdução:** rotação em torno do eixo vertical em direção às têmporas;
- **Elevação:** rotação em torno do eixo horizontal para cima;
- **Depressão:** rotação em torno do eixo horizontal para baixo;
- **Intorsão:** rotação em torno do eixo sagital, em que a metade superior do globo ocular rotaciona em direção ao nariz;

- **Extorsão:** rotação em torno do eixo sagital, em que a metade superior do globo ocular rotaciona na direção temporal.

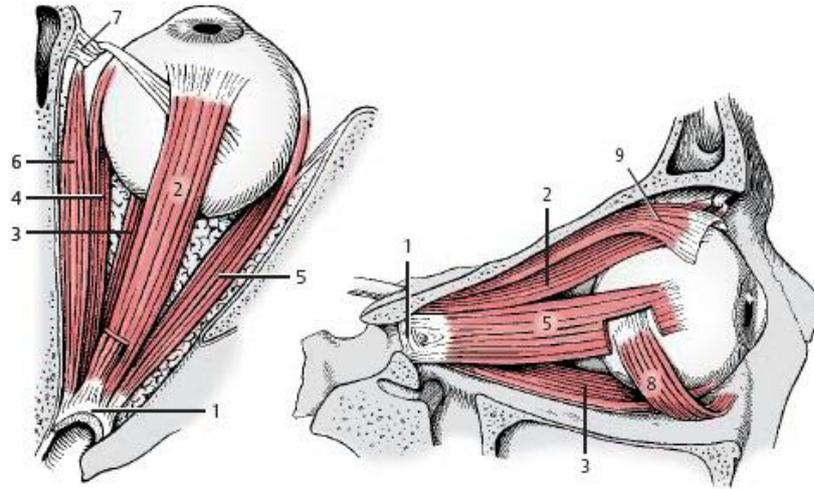


Figura 6 - Vistas de topo e lateral respectivamente dos músculos extraoculares
Fonte: KAHLE, 2003.

2.4.2 O Olho Humano e a Pupila

A pupila está localizada no globo ocular e o seu comportamento poderá relatar diversos aspectos físicos, estendendo-se ao comportamento humano. A dilatação da pupila, tecnicamente chamado de midríase, assim como a sua contração, chamada de miose, ocorre de forma natural e involuntária, principalmente em resposta à luz do ambiente. O fenômeno de contração e expansão da pupila em virtude da luz ambiente ocorre devido ao fato de o organismo controlar a quantidade da entrada de luz no globo ocular. O diâmetro da pupila do olho humano exposto a ambientes de pouca luminosidade, por ação do sistema nervoso simpático, o diâmetro da pupila tende a expandir-se, permitindo a entrada de maior quantidade de luz; em locais muito claros, a ação do sistema nervoso parassimpático acarreta a sua contração, ocorrendo a redução do diâmetro da pupila e da entrada de luz. Esse mecanismo involuntário evita o ofuscamento e impede que a luz em excesso cause lesões nas células fotossensíveis da retina. Todo esse processo de dilatação e contração não ocorre de forma instantânea, havendo um tempo de adaptação ocular.

O fenômeno que realiza a análise da resposta da pupila à iluminação escura chama-se adaptação ao escuro, nictalopia. Tal fenômeno pode ser comprovado ao expor o olho humano à luz noturna após um período anterior em ambiente claro, e o que se observa é que, lentamente,

o sujeito conseguirá identificar características do novo ambiente, proporcionalmente à adaptação do sistema ocular à nova iluminação, o que pode demorar até 30 minutos.

2.4.3 A Análise da Pupila e sua Resposta Fisiológica Comportamental

Os olhos encontram-se interligados ao sistema nervoso central, ou seja, ao cérebro. A partir disso, é possível realizar a análise do globo ocular, particularmente da pupila, identificando respostas imediatas e involuntárias do sistema nervoso, bem como o comportamental do sujeito analisado.

A análise da pupila e sua dilatação poderá identificar alguns fatos/ações de forma quantitativa em relação ao sujeito, conforme descrições abaixo:

- Reflete as emoções do sujeito;
- Identifica níveis de estresse, tensão, ansiedade, interesse, atenção e concentração;
- Mostra a redução da oxigenação do cérebro;
- Reflete a intensidade da dor;
- Mostra o uso de medicamentos ou drogas;
- Reflete danos cerebrais.

2.4.4 O Rastreamento Ocular

O rastreamento ocular é a quantificação do movimento dos olhos. Há diversas técnicas e equipamentos que realizam o rastreamento, porém ainda se carece de um estudo aprofundado sobre qual técnica possui maior precisão. Logo, foi escolhido o algoritmo de Prestes (2013), que realiza a comparação dos algoritmos na área médica. De acordo com Prestes (2013), a técnica desenvolvida por ele para rastreamento ocular com validação médica de forma não invasiva possui a maior precisão possível com o uso de processamento de imagens, fazendo uso da pupila para o cálculo do centro ocular. Para adquirir essa precisão, é preciso alto poder computacional, pois o algoritmo realiza o isolamento em tempo real da pupila, isola suas bordas e realiza o cálculo do seu centro de massa, por se tratar do globo ocular. Para Prestes (2013), a precisão do algoritmo se dá ao fato de a taxa de erro se encontrar entre os pixels vizinhos do centro ocular, sendo imperceptível durante os testes; além disso, é utilizado para diagnóstico de doenças.

De acordo com Khushaba (2013), é possível realizar a análise de marketing e preferência na decisão do usuário a partir de EEG e rastreamento ocular. A pesquisa realizou a análise de design e apresentação de produtos (bolachas comestíveis) a partir da análise dos sinais cerebrais com a utilização do Emotiv e o rastreamento ocular com o uso do Tobii, no processo de decisão a partir da prévia análise fisiológica durante todo o processo.

2.4.5 Equipamento para Rastreamento Ocular

Há diferentes equipamentos para a quantificação de rastreamento ocular de acordo com a área de interesse, como saúde, marketing, *fitness*, entretenimento, entre outros. Cada equipamento possui diferentes características, como precisão, modo de utilização e portabilidade.

Na área médica, há equipamentos para a realização do rastreamento ocular com foco em apoio ao diagnóstico médico para diferentes patologias, como o nistagmos (quantificação de oscilações rítmicas repetidas e involuntárias em diferentes sentidos). O nistagmo pode ocorrer por diferentes problemas de saúde, que abrangem desde graves problemas neurais a problemas de equilíbrio humano, a partir da resposta involuntária dos olhos em resposta ao sistema vestibular, localizado no ouvido interno do indivíduo. De acordo com Prestes (2013), existem equipamentos de rastreamento ocular utilizados na medicina para apoio ao diagnóstico médico com foco no sistema vestibular, responsável pelo sistema de equilíbrio humano, que possuem alta precisão com resposta em tempo real, de forma não invasiva.

Na área de esportes de alta performance, utilizam-se equipamentos de rastreamento ocular portáteis para a análise do comportamento do sujeito durante o seu respectivo treino. Porém, esses equipamentos não se restringem a essa área, pois a sua aplicação é variável, como demonstrado pela empresa Ergoneers, que realiza a venda de soluções baseadas em *hardware* e *software* a partir do rastreamento ocular e da sincronização de dados para a aplicação em diferentes áreas, como em pesquisas de comportamento do sujeito no mundo real, aplicações virtuais, teste de comportamento de motoristas, marketing de produtos, usabilidade de aplicativos e esportes de alta performance, por exemplo.

De acordo com a empresa, as áreas de aplicação dos seus produtos e diferenciais de mercado são:

Diferenciais do produto:

- Integração de dados de diferentes fontes;
- Independência na aquisição de dados de diferentes fontes;

- Visualização dos dados em tempo real;
- Análise de dados;
- Layout configurável.

Área de aplicação:

- Ergonomia;
- Pesquisa de mercado;
- Pesquisa de veículos, aviões, ferroviária;
- Usabilidade;
- Pesquisa comportamental;
- Pesquisa de percepção;
- Salas de monitoramento;
- Clínicas de design;
- Pesquisa de ensino e aprendizagem;
- Pesquisa esportiva e biomecânica;
- Pesquisa médica;
- Realidade virtual e realidade aumentada;
- Estudos de arquitetura/construção/exposição;
- Ergonomia da produção e design do local de trabalho.

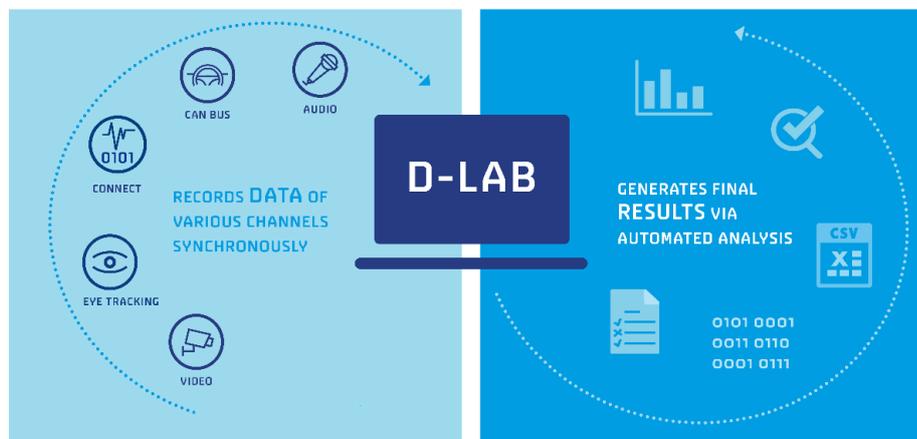


Figura 7 - Diagrama de aquisição e análise de dados Ergoneers
Fonte: ERGONEERS, 2020.

A empresa Tobii produz equipamentos de rastreamento ocular com as aplicações equivalentes ao Ergoneers, porém disponibiliza diferentes produtos de acordo com as respectivas aplicações, possibilitando a extensão de sua utilização a diferentes áreas do

conhecimento. Os produtos disponibilizados pelo fabricante abrangem o rastreamento ocular a partir de monitores com o *Tobii Eye Tracker*, óculos portáteis com o *Tobii Pro* e monitores com foco em tecnologia assistiva, os chamados *Tobii Dynavox I-13 e I16*. O diferencial da empresa consiste em produtos que visualmente são integrados ao estilo vestível (*wearables*), o qual possibilita a sua utilização em um ambiente de monitoramento baseado em computação pervasiva, não invasiva, sem que o usuário tenha o conhecimento de que está sendo observado, não interferindo, conseqüentemente, nos dados obtidos.

De acordo com a empresa Tobii, os seus produtos podem ser aplicados nas respectivas áreas:

- Marketing e pesquisa de usuários;
- Tecnologia assistiva;
- Pesquisa acadêmica, pesquisa de mercado e desempenho profissional;
- Indústria e desempenho humano;
- Tecnologia em saúde oftalmológica;
- Tecnologia em realidade aumentada;
- Entretenimento e jogos digitais.



Figura 8 - Equipamentos de Rastreamento Ocular Tobii
Fonte: TOBII, 2020.

2.5 Trabalhos Relacionados

2.5.1 O Eletroencefalograma Aplicado à Educação

A pesquisa envolvendo o eletroencefalograma na área educacional vem crescendo gradativamente a partir da disponibilização de equipamentos comerciais que possibilitaram sua realização. Todavia, os trabalhos carecem de profundidade por necessitar de profissionais e pesquisadores multidisciplinares durante o seu desenvolvimento. Logo, a partir dessa

afirmação, busca-se integrar os estudos de maior contribuição acadêmica em âmbito internacional, de forma a buscar uma base sólida no desenvolvimento da pesquisa.

Durante o estudo, é possível afirmar que, apesar de o tema da neuroeducação ser de suma relevância para o desenvolvimento de tecnologias educacionais inovadoras, os trabalhos encontrados são escassos e possuem, majoritariamente, caráter experimental e qualitativo. Os equipamentos para a pesquisa carecem de informações técnicas relevantes que possam garantir a correta interpretação dos dados analisados. De forma complementar ao tema, não foi encontrado até o momento uma metodologia para a utilização de EEG voltado à análise de tecnologias educacionais que possa ser utilizada como base de estudos ou testes. Este fato pode ter ocorrido devido à necessidade de uma equipe multidisciplinar para o desenvolvimento desse tipo de pesquisa. A equipe provavelmente deverá ser composta por pedagogos, para a análise do instrumento de aprendizagem, psicopedagogos, para a compreensão do limiar entre o ensino e os problemas relacionados a ele, engenheiros, para estudo e validação dos equipamentos de EEG disponíveis no mercado, bem como para a análise de sinais elétricos cerebrais, assim como médicos especializados em neurologia. A partir disso, foi necessário buscar não somente trabalhos voltados à educação, mas as suas devidas correlações a fim de criar uma base técnica-teórica suficiente para o desenvolvimento da pesquisa proposta.

De acordo com Badcock e Sweller (2015), o uso do Emotiv EEG em comparação ao tradicional Neuroscan para pesquisa na detecção de sons em crianças de 6 a 11 anos se torna possível, pois retrata, de forma similar, os respectivos testes, apesar de serem produtos com diferentes finalidades, seja o Neuroscan para diagnóstico médico e o Emotiv para pesquisa e entretenimento. Ambos os estudos retratam, de forma equivalente, as respostas neurais na pesquisa proposta. De acordo com Wang. S (2016), é possível analisar a carga de trabalho no acesso à memória a partir de dispositivos EEG sem fio com o uso do Emotiv, demonstrando a possibilidade de realizar a análise de dados com o uso de técnicas de reconhecimento, em tempo real, para monitoramento e identificação dos níveis de carga mental em uma ampla variedade de atividades cognitivas na sociedade moderna.

Um aspecto importante a ser considerado durante o processo de aprendizagem é a emoção e a sua influência na assimilação do conhecimento. Testes realizados com 36 crianças entre 9 e 16 anos, com a utilização do Emotiv, teve como objetivo observar o efeito da ansiedade e dificuldades inerentes ao estudo de matemática. Esse estudo demonstrou que os jogos matemáticos são positivos e facilitadores no processo de ensino porque reduzem o efeito da ansiedade no estudo das exatas (VERKIJIKA; DE WET, 2015).

O trabalho realizado por Wang & Sourina (2013) fez uso do Emotiv para realizar o monitoramento de atividades neurais com o uso de técnicas de *neurofeedback* visual, auditivo ou tátil. Esse trabalho teve como um dos seus objetivos fornecer dados para a melhor compreensão do TDAH. Cernea *et al.* (2011) utilizaram o EPOC EEG com o objetivo de obter maior compreensão no processo de realização de enigmas visuais nas suas mais diferentes formas. A pesquisa relata que há uma forte conexão entre *insights* e sentimentos como frustração e excitação.

O trabalho realizado por Badcock *et al.* (2013) busca utilizar o Emotiv EPOC para investigar o processamento auditivo do cérebro (Auditory event-related potentials - ERPs) em pessoas com distúrbios cognitivos como dislexia, comprometimento específico da linguagem (DEL), transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH), esquizofrenia e autismo. O processo ao qual os sujeitos estão submetidos podem ser longos, incômodos e ameaçadores, principalmente quando realizado em crianças. Por esse motivo, foi utilizado o Emotiv EPOC para a menor interferência nos dados obtidos, devido à sua equivalência ao Neuroscan hospitalar. A pesquisa concluiu que o equipamento é uma alternativa válida para a aquisição de dados relacionados a ERPs (P1, N1, P2, N2, and the P3), exclusivamente no córtex frontal.

A comunicação interpessoal beneficia-se das informações emocionais codificadas pela expressão facial, linguagem corporal e tom de voz. O trabalho realizado por Kuber (2013) faz uso de *headset* neural para a análise de mensagem de texto tradicional em comparação à mensagem de texto com *emojis*, o que foi representado em respostas corporais pelo indivíduo. Esse trabalho buscou analisar a resposta do uso dessas tecnologias tendo em vista a não disponibilidade de resposta corporal realizada em um diálogo realizado de forma física.

O trabalho realizado por Ehrloch *et al.* (2019) propõe um sistema não invasivo de interface cérebro-computador (BCI), semelhante ao uso do EEG, para a avaliação do estado afetivo de uma pessoa a partir de estímulos musicais. A pesquisa demonstrou que o uso da música foi capaz de realizar a modulação intencional do *feedback* por emoções autoindutoras (por exemplo, recordando memórias), sugerindo que o sistema desenvolvido seria capaz não somente de capturar o estado afetivo atual do ouvinte em tempo real, mas também potencialmente ser utilizado como uma ferramenta para os ouvintes mediarem suas próprias emoções, interagindo com a música.

Durante a pesquisa bibliográfica, não foram encontrados artigos que realizassem o estudo de instrumento educacional a partir da integração do EEG e rastreamento ocular. Complementarmente, não há artigos que proponham quaisquer padronizações metodológicas para o uso de EEG na análise de instrumentos educacionais, tão pouco a necessidade de

calibração dos equipamentos utilizados, bem como a equalização neural dos seus participantes. Essa lacuna pode ser justificada pelo fato de que a pesquisa possui caráter transdisciplinar (Biológica – Educacional – Matemática – Física), dificultando o seu desenvolvimento e a criação de padronização metodológica de pesquisa. Isso permeia os objetivos desta tese, não somente no desenvolvimento da metodologia em si, mas para também demonstrar as dificuldades e os cuidados para a sua aplicação em futuras pesquisas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Metodologia de Pesquisa

A metodologia desta pesquisa possui caráter qualitativo e quantitativo. O seu desenvolvimento foi dividido em sete fases, conforme descrito na Figura 9.

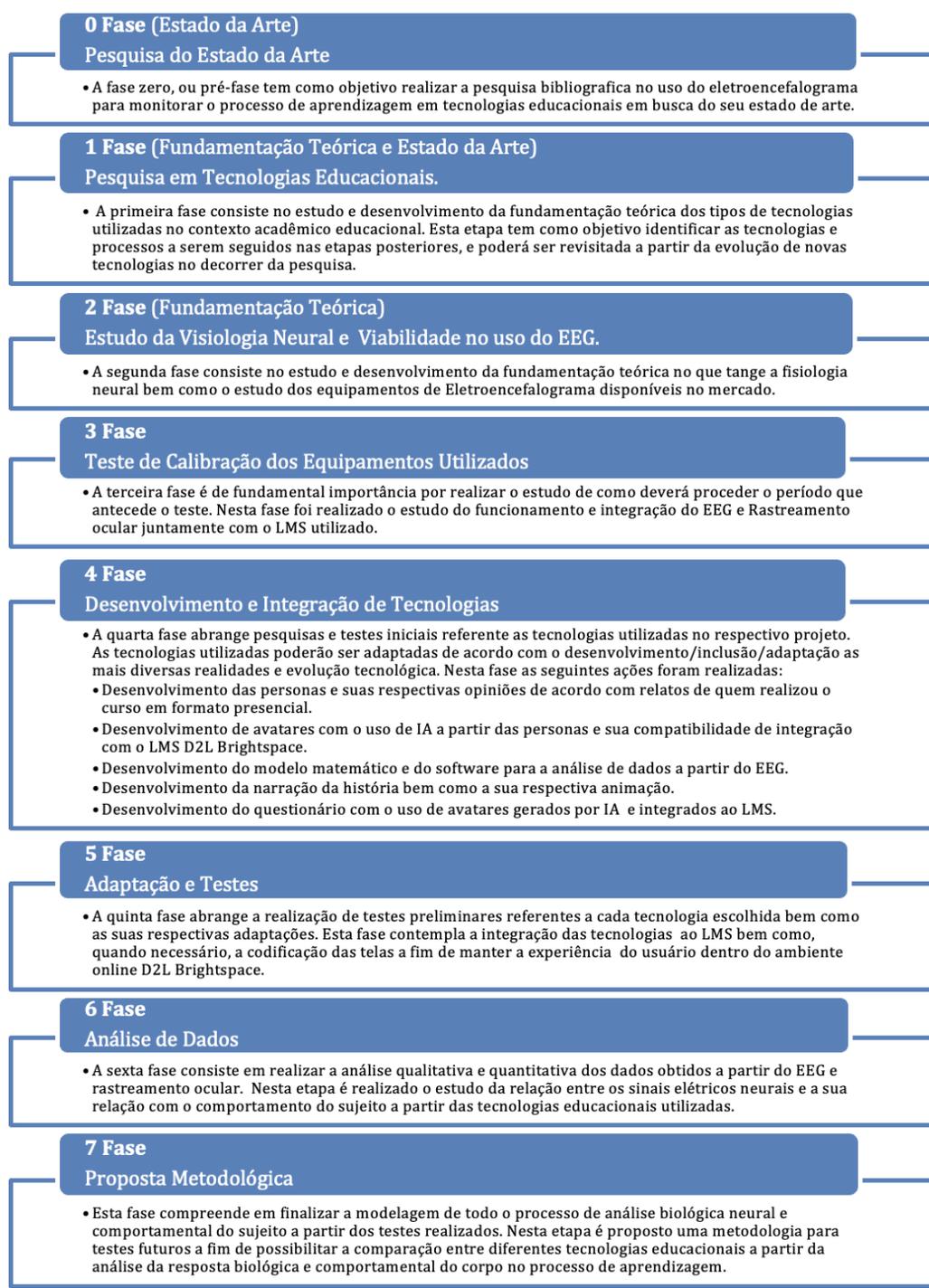


Figura 9 - Fases globais de aplicação do projeto de pesquisa
Fonte: elaborado pelo autor.

As duas primeiras fases da metodologia consistem no desenvolvimento da base teórica, que contempla o estudo e a compreensão das tecnologias educacionais, equipamentos de eletroencefalograma e rastreamento ocular disponíveis comercialmente, bem como o estudo da biologia do cérebro, do olho e do sistema nervoso central. Nelas, deve-se salientar que não houve artigos que realizassem a integração do EEG e do rastreamento ocular com objetivo educacional, tampouco uma padronização metodológica que possibilitasse a comparação entre diferentes instrumentos educacionais.

A terceira fase torna-se necessária devido à pesquisa realizada nas fases anteriores, em relação à utilização do eletroencefalograma na área educacional. Durante a realização dessa fase, foram identificadas diversas dificuldades inerentes à utilização do equipamento de EEG e a forma pela qual os dados foram disponibilizados ao pesquisador. Durante a pesquisa, foi verificado que as metodologias de utilização do equipamento de EEG não realizavam quaisquer calibrações do estado neural anterior ao experimento, podendo ocasionar a análise de dados quantitativos não inerentes à pesquisa.

As demais fases compreendem a inclusão de tecnologias educacionais aderentes à respectiva pesquisa, podendo haver adaptações de acordo com o objetivo de futuras pesquisas, porém seguindo a metodologia proposta na fase 7 e descrita na Figura 10.

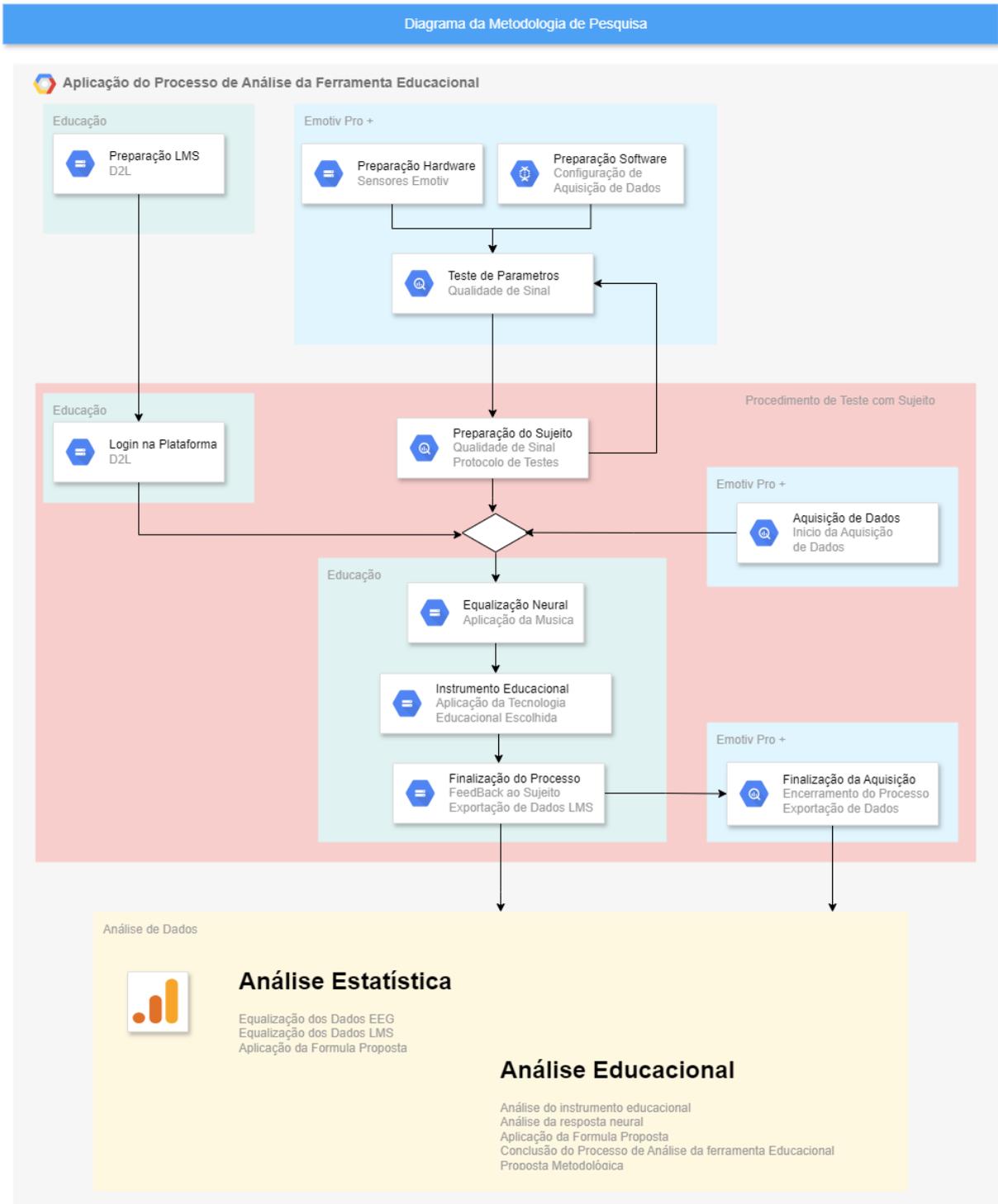


Figura 10 - Imagem representativa do processo de desenvolvimento do projeto de tese

Fonte: elaborado pelo autor.

3.2 Protocolo de Preparação do Emotiv Pro+

O EEG (eletroencefalograma) possui um protocolo de preparação que antecede a sua utilização. Cada tipo de equipamento, de acordo com o seu respectivo sensor, possui a necessidade de preparação previamente definida pelo fabricante. A preparação do equipamento Emotiv Pro+ é composto por duas fases que antecedem a sua utilização na pesquisa.

A primeira fase, que envolve a preparação dos sensores, deverá ser realizada com, pelo menos, três horas de antecedência. Os sensores deverão passar por um processo de umidificação em solução salina, conforme orientação do fabricante. Esse processo poderá ser realizado nas vésperas do experimento, bem como a necessidade de realizar o carregamento, o que deve ser realizado de quatro a seis horas que antecede o teste, a depender do nível da carga previamente detectada.

A segunda fase visa identificar o nível de salinidade e recepção dos sensores ao serem adaptados ao indivíduo, o que deve ocorrer, aproximadamente, 30 minutos antes de sua utilização. Durante esse processo, é verificado o nível de recepção de cada um dos 14 sensores a partir do *software* disponibilizado pelo fabricante. Os níveis de recepção são: nulo, baixo, médio e alto, identificados, respectivamente, pelas cores cinza, vermelha, amarela e verde, conforme Figura 11.

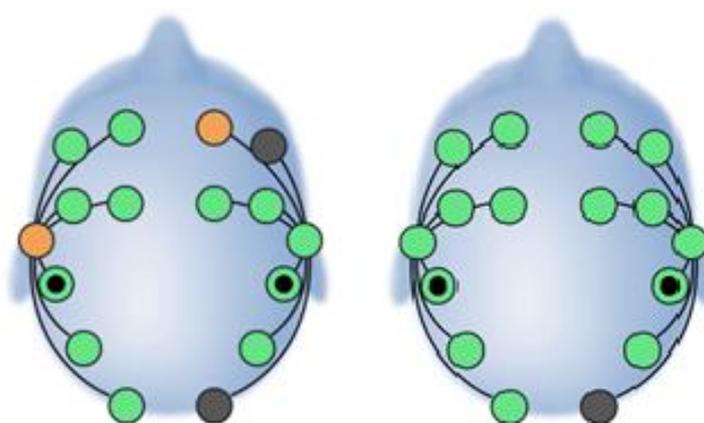


Figura 11 - Identificação de contato dos sensores
Fonte: elaborado pelo autor.

A utilização do equipamento não poderá necessariamente ocorrer em todos os voluntários devido às limitações de design e características dos sensores. A adaptação do equipamento ao sujeito requer alguns cuidados especiais, incluindo o seu manuseio e pressão nas áreas pré-definidas.

O processo de identificação do sensor no couro cabeludo poderá ser obstruído se o cabelo do sujeito estiver molhado ou com algum produto químico, possuir alta densidade capilar no local de recepção ou ondulações no crânio, o que impossibilita a pressão dos sensores nos locais pré-determinados.

3.3 Método de Análise dos Dados Estatísticos

O estudo de quaisquer instrumentos que gerem uma grande quantidade de dados requer o conhecimento na área de estatística para a sua correta interpretação. Durante a pesquisa do estado da arte em tecnologias educacionais com o uso de instrumentos de quantificação de dados, foi possível identificar que poucas são as pesquisas que realizam o processo de análise de dados de forma completa. Logo, busca-se não somente exemplificar os conceitos estatísticos, em linguagem simples, mas também facilitar ao pesquisador que não possui familiaridade na área das exatas a sua aplicação durante a pesquisa.

3.3.1 Dados e Informação

O principal conceito ao se trabalhar com dados estatísticos é a diferença entre dado e informação. Atualmente, vivemos em um contexto de geração de dados, a conhecida Big Data, em que dados são gerados na utilização de quaisquer *softwares*, seja uma simples pesquisa no navegador a um instrumento educacional. Ainda assim, desconhecemos o seu conceito básico: o que é, então, um dado? Para conceitualizar a diferença entre dado e informação, faz-se adequado fazê-la a partir de um exemplo prático.

Ao fornecer um número a um determinado indivíduo, por exemplo, o número 10, um aluno inicialmente poderá não compreender o seu significado, pois é somente um numeral sem quaisquer contextos, podendo ser a idade de uma pessoa ou o número de indivíduos em uma sala. Esse numeral sem contextualização pode ser chamado de **dado**. A partir do momento em que fornecemos subsídios ao indivíduo do seu significado, o dado torna-se relevante, tornando-se uma **informação**. Nesse caso, foi informado posteriormente ao indivíduo que o número seria a quantidade de acessos a uma determinada página *web*, logo, o numeral 10 é um **dado** de uma determinada página que se transforma em uma **informação**, a partir do seu significado no contexto no qual está inserido.

Dado: Todo e qualquer conjunto de letras, números ou símbolos sem qualquer contexto ou significado aparente.

Informação: O significado de uma determinada letra, número ou símbolo.

O modo pelo qual visualizamos os dados em uma tela pode ocorrer de diferentes formas: simples listagem de dados (dados brutos), tabelas nominais, tabelas intervalares ou gráficos em diferentes formatos. Os diferentes modos de visualização de dados deverão ser escolhidos de acordo com as características dos dados dispostos ao pesquisador, facilitando a compreensão ou a busca de padrões.

Cada um dos modos de visualização de dados possui diferentes características e fórmulas para a quantificação da média, da mediana, do desvio padrão ou da variância. Cabe salientar que, para cada um dos diferentes modos de visualização relacionados às características dos dados, poderá ocorrer variação na taxa de desvio padrão entre eles, cabendo ao pesquisador escolher o modo mais adequado à pesquisa.

Tabela 4 - Tabela comparativa do modo de visualização de dados. Fonte: elaborado pelo autor.

Nome	Conceito	Utilização	Exemplo																																							
Dados brutos	Os dados brutos correspondem a uma simples listagem dos dados.	Quantidade de dados: baixa Variabilidade: baixa	Notas da Turma X 00 02 00 09 05 06 08 05 05 00 02 02 03 04 05 04 06 08 07 05 00 01 01 07 09 06 07 05 03 03																																							
Tabela nominal	A tabela nominal corresponde a uma tabela com os elementos e o seu número de ocorrências.	Quantidade de dados: alta Variabilidade: baixa	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Notas dos Alunos da turma X</th> </tr> <tr> <th>i</th> <th>Notas (xi)</th> <th>Frequências (fi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0</td><td>4</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>6</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>6</td><td>3</td></tr> <tr><td>8</td><td>7</td><td>3</td></tr> <tr><td>9</td><td>8</td><td>2</td></tr> <tr><td>10</td><td>9</td><td>2</td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td></td><td>30</td></tr> </tbody> </table>	Notas dos Alunos da turma X			i	Notas (xi)	Frequências (fi)	1	0	4	2	1	2	3	2	3	4	3	3	5	4	2	6	5	6	7	6	3	8	7	3	9	8	2	10	9	2	TOTAL		30
Notas dos Alunos da turma X																																										
i	Notas (xi)	Frequências (fi)																																								
1	0	4																																								
2	1	2																																								
3	2	3																																								
4	3	3																																								
5	4	2																																								
6	5	6																																								
7	6	3																																								
8	7	3																																								
9	8	2																																								
10	9	2																																								
TOTAL		30																																								

Tabela intervalar	A tabela intervalar corresponde a uma tabela por intervalos, com faixa de dados, e o número de ocorrências no respectivo intervalo.	Quantidade de dados: alta Variabilidade: alta	Notas dos Alunos da turma X					
			i	Dados	Frequências (f_j)	X_i	X_i*f_j	F_{ai}
			1	0 - 2	6	1	6	6
			2	2 - 4	6	3	18	12
			3	4 - 6	8	5	40	20
			4	6 - 8	6	7	42	26
			5	8 - 10	4	9	36	30
			TOTAL		30			

3.3.2 Modelagem Matemática de Quantificação de Ativação Neural com o uso do EEG

A quantificação de ativação neural com o uso do EEG ocorre a partir do potencial elétrico captado pelos seus receptores. Em pesquisas que fazem uso do eletroencefalograma, é realizada a análise do sensor no lobo que se deseja verificar o nível de ativação, como o lobo frontal para a análise da atenção. O problema de realizarmos esse tipo de quantificação é que, ao analisarmos um lobo em específico, estamos analisando não somente a atenção, mas, sim, toda e qualquer ativação inerente a essa área cerebral. Logo, é possível quantificarmos não somente a atenção, mas outros fatores/ações que estejam ocorrendo na mesma área analisada ou efeito em áreas adjacentes.

Os lobos do cérebro não trabalham de forma independente e a sua relação de integração com as demais áreas cerebrais possuem efeito na área da pesquisa proposta. A partir dessa informação, busca-se realizar uma quantificação de ativação neural, não somente de uma área em específico, mas a sua relação com as demais áreas cerebrais aplicadas no processo de aprendizagem, com o uso de diferentes áreas do cérebro simultaneamente. Para isso, busca-se propor um modelo de quantificação de eficiência a partir de uma análise mais completa do cérebro.

3.3.3 Modelo Matemático Proposto

O modelo matemático proposto de análise neural tem como objetivo realizar a análise a partir do nível de intensidade de cada lobo cerebral, bem como a sua relação com os lobos adjacentes. Esse modelo desenvolvido pelo autor dessa tese busca compreender a relação entre lobos a partir dos testes propostos nessa tese, em busca de uma moderada/alta ativação independente, com moderada/alta correlação entre lobos.

Ativação independente do lobo (AI): a ativação independente do lobo compreende a intensidade de ativação do lobo a partir da média das medianas dos sensores localizados no respectivo lobo. Durante essa análise, é necessário considerar que a mediana foi calculada a partir da frequência de aquisição dos dados por segundo, previamente configurada. A mediana foi utilizada com o objetivo de criar um filtro de sinal passa-faixa, ignorando picos de dados a partir de movimentos involuntários, além de falhas do sensor na aquisição de dados.

$$AI = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (MMi)}{n} \right) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

AI = Ativação independente do lobo

MM = Média das medianas dos sensores localizados no lobo por segundo (considerar a frequência de aquisição de dados)

n = Número de sensores

Ativação proporcional do lobo (AP): a ativação proporcional do lobo compreende a intensidade de ativação do lobo sem a relação entre os demais lobos. Essa área de proporcionalidade leva em consideração o volume do respectivo lobo.

$$AP = \left(\frac{VL}{100} * AI \right) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

AP = Ativação proporcional do lobo

AI = Ativação independente do lobo

VL (%) = Volume do lobo

Ativação relacional do lobo (AR): a ativação relacional do lobo compreende a relação do nível de ativação do lobo de referências perante os demais lobos. A relação de importância independente poderá ser atribuída partindo-se da proporcionalidade do perímetro de contato entre lobos; Logo, o total do grau de importância entre os lobos não poderá passar de 100% e será diferente a partir do lobo de referência.

$$AR = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Ii}{100} * AIi \right) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

AR = Ativação relacional do lobo referência com os demais lobos analisados

AI = Ativação independente do lobo

II (%) = Importância independente

N = Número de lobos

Ativação relacional geral (ARG): a ativação relacional geral compreende o nível de ativação do cérebro de forma abrangente, considerando o grau de causa-efeito dos lobos entre si.

$$ARG = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{GI_i}{100} * AR_i \right) \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

ARG = Ativação relacional geral

AR = Ativação relacional do lobo

GI (%) = Grau de importância do lobo. Essa variável é independente e deverá ser atribuída pelo usuário a partir do seu objetivo de pesquisa, adicionando um grau de importância aos diferentes lobos do cérebro. De forma geral, recomenda-se a utilização da porcentagem volumétrica de cada lobo.

n = Número de lobos

Ativação proporcional geral (APG): a ativação proporcional geral compreende o nível de ativação do cérebro de forma proporcional a partir da atenuação de movimentos involuntários realizados pelo sujeito.

$$APG = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (AP_i)}{n} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

ANP = Ativação neural proporcional

AP = Ativação proporcional do lobo

n = Número de lobos

Para o cálculo do nível de ativação de um lobo, será utilizada a média das medianas dos dados obtidos por segundo pelos sensores localizados e ativos sobre o lobo de referência. A cada segundo, o Emotiv Pro+ disponibiliza de 128 a 256 dados por sensor por segundo. A escolha pela mediana e não pela média na quantificação dos dados de um sensor se dá ao fato de que a média dispersa o cálculo de tendência central em ocorrência de artefatos oriundos de

um movimento involuntário não constante, como uma simples piscada, o que não ocorre com o uso da mediana, se realizada com os valores ordenados de forma crescente. Salienta-se que os níveis de ativação de cada sensor estão de acordo com os níveis mínimos e máximos relativos à sua resolução.

3.3.4 *Software* de Análise de Dados

A análise dos dados brutos gerados pelo Emotiv Pro+ de 14 canais, ao serem exportados em formato CSV, requer alguns pré-requisitos de *hardware* para o seu processamento, pois é composto por, aproximadamente, 158 colunas e 500 mil linhas de dados a cada 30 minutos de teste. Essa massa de dados impossibilita a análise a partir do Microsoft Excel, sendo necessário o desenvolvimento de um *software* de processamento de dados pelo autor desta tese.

O *software* desenvolvido chamado **EEG Data Analysis** possui os respectivos pré-requisitos:

- Processador Intel I5 ou AMD equivalente com, pelo menos, quatro núcleos físicos de processamento;
- Memória RAM de 16Gb, sendo 8Gb de memória para o sistema operacional e pelo menos oito vezes mais memória que o tamanho em Mb do arquivo CSV a ser processado;
- HD 256 GB SSD de, no mínimo, 500mb/s de leitura e escrita, embora seja recomendado um HD com valores superiores a 1500mb/s de leitura devido à necessidade de transferência de memória do HD para a RAM;
- Sistema operacional Windows 10 ou superior.

*Devemos salientar que a baixa quantidade de memória RAM adicionada a um HD de baixo desempenho poderá ocasionar travamento no sistema operacional devido à alta utilização de memória *swap* no disco rígido.

O desenvolvimento do *software* pelo autor foi realizado a partir do Microsoft Visual Studio em linguagem de programação C#, com o uso de bibliotecas de processamento de dados e com a utilização de *multithreading* em plataforma Windows Forms. Com o objetivo de facilitar a utilização do *software* para futuros pesquisadores, algumas premissas foram implementadas:

- O *software* possui o seu processo de instalação/desinstalação similar a quaisquer aplicativos nativos da plataforma Windows, não havendo a necessidade de conhecimento avançado para a sua utilização;
- Após a sua instalação, um ícone é criado na área de trabalho, bem como no menu Iniciar do sistema operacional;
- O seu processo de desinstalação poderá ser realizado a partir do **Painel de Controle**, na opção **Adicionar e Remover Programas** do sistema operacional;
- O *software* foi devidamente validado a partir da criação de arquivos de entrada com saída esperada;
- O arquivo de entrada e saída possui a devida validação de dados e informa o usuário em caso de erro;
- Os dados de configuração referentes ao modelo matemático proposto poderão ser modificados sem a necessidade de programação;
- O usuário poderá definir o intervalo de dados a ser analisado a partir dos dados de tempo do arquivo de entrada;
- O *software* possui validação de entrada de dados referente à variável tempo previamente definida pelo usuário, impossibilitando a inserção de valores incoerentes com o arquivo.

O *software* recebe como entrada de dados um arquivo em formato CSV a partir do software Emotiv Pro+ de 14 canais, com 128 ou 256 dados brutos por segundo, a ser configurado pelo usuário. Os arquivos de saída encontram-se em formato CSV e poderão ser importados e manipulados no Microsoft Excel com as informações expostas a seguir.

Arquivo de exportação Data Analysis:

- Cada linha do arquivo de saída representa 1 segundo de dados brutos gerados pelo Emotiv;
- A primeira coluna representa o tempo em segundos;
- As colunas com o formato **Emotiv_Analysis.NomeDoSensor_Analysis** possuem a mediana do sensor no segundo de referência;
- As colunas com o formato **AI_Lobe_NomeLobo** representam a Ativação Independente do lobo de referência. Esse cálculo é realizado a partir da média das medianas dos sensores localizados no lobo de referência;

- As colunas com o formato **AP_Lobe_NomeLobo** representam a Ativação Proporcional do lobo de referência;
- As colunas com o formato **AR_Lobe_NomeLobo** representam a Ativação Relacional do lobo de referência;
- A coluna com nome **ARG** representa a Ativação Relacional Geral;
- A coluna com nome **APG** representa a Ativação Proporcional Geral.

Arquivo *Data Metrics*:

- O arquivo de saída *Data Metrics* representa os dados em % referente a estresse, engajamento, interesse, excitação, foco, atenção e relaxamento, devidamente identificados em cada coluna;
- A primeira coluna representa o tempo no qual o dado foi originalmente gerado. Devemos salientar que o *software* Emotiv gera um dado a cada 10 segundos, sendo possível verificar que os dados ali presentes possuem intervalos de 10 segundos, seguindo o tempo do arquivo original de entrada.

The screenshot displays the configuration interface of the Emotiv software. It includes sections for file loading, sensor selection, performance metrics, and lobe activation settings. A central diagram shows the placement of 14 EEG sensors on a human head model. The right side of the interface features sliders for Lobe Relational Activation (AR) and Cerebral Cortex Volume, with values for Parietal, Frontal, Occipital, and Temporal lobes.

Figura 12 - Imagem das telas de configuração
Fonte: elaborado pelo autor.

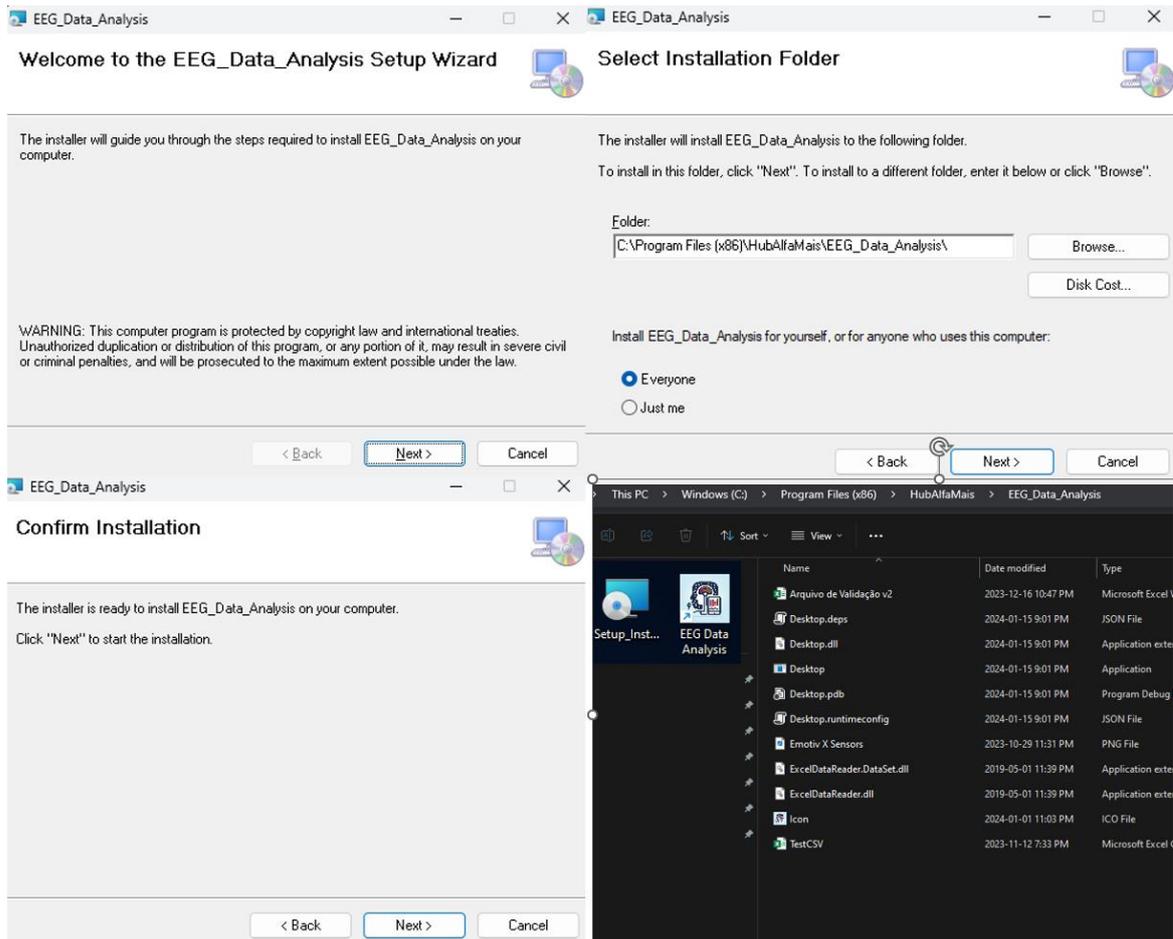


Figura 13 - Imagem das telas de instalação
Fonte: elaborado pelo autor.

3.4 Equipamentos Utilizados

A realização dos testes consiste na utilização de ferramentas educacionais multimídia, integradas ao AVA D2L Brightspace, bem como equipamentos de *hardware* para a aquisição de dados. Os equipamentos necessários para os testes estão mencionados a seguir.

Hardware

- Computador para a utilização e acesso ao AVA pelo aluno.
 - Configuração mínima: processador Intel Core i5, 8Gb DDR4 e HD de 256gb SSD com Bluetooth, se utilizado fone sem fio com isolamento de ruído.
- Computador para a aquisição dos dados a partir do pesquisador.
 - Configuração mínima: processador Intel Core i5, 16Gb DDR4 e HD de 512gb SSD M.2 de, pelo menos, 1500mb/2 de leitura e escrita.

- Monitor externo de 27 ou 32 polegadas para a instalação do rastreador ocular a ser utilizada pelo aluno.
- Eletroencefalograma: Emotiv Pro+ de 14 canais + Emotiv App.
- Rastreador ocular: Tobii Eye Tracker 4c ou 5 + Tobii App.
- Placa de captura Elgato + *software* de gravação.
- Fone de ouvido com ou sem fio, preferencialmente com isolamento de ruído ativo.

Softwares e ferramentas educacionais

- AVA D2L Brightspace.
- Áudio: música para a equalização das ativações neurais a partir do teste de Hipótese 1 e utilizado como parte do teste de Hipótese 2.
- Vídeo: vídeo animado correspondente à história a ser analisada pelo aluno. Neste projeto, foi utilizada a ferramenta educacional Powtoon (desenvolvido pelo autor).
- Integração de ferramenta multimídia ao AVA para a execução de áudio e vídeo.
- Ferramenta: questionário baseado em vídeo a partir de avatares com o uso de Inteligência Artificial.
- *Software* utilizado: Synthesia
- Módulo de relatório de dados provenientes do AVA D2L Brightspace.
- *Software* de análise de dados proveniente do Emotiv Pro+
- *Software* de calibração do Tobii Eye Tracker.
- *Software* de análise de dados (desenvolvido pelo autor).
- *Software* de gravação de imagem Elgato.

4 HIPÓTESE DA PESQUISA

O desenvolvimento da metodologia passa por testes preliminares para a compreensão do comportamento do sujeito e análise do funcionamento do equipamento de EEG Emotiv Pro+. Os testes realizados são:

Teste da Hipótese – equalização neural: teste de hipótese para verificar a necessidade de realizar a equalização das ondas neurais do sujeito antes de utilizar o EEG em um teste de instrumento educacional.

Teste da Hipótese – análise do instrumento educacional: teste da aplicação da metodologia proposta a partir do uso de eletroencefalograma e rastreamento ocular na utilização de tecnologias educacionais integradas ao AVA. Esse teste inclui a utilização dos conceitos de *Design Thinking* integrados ao AVA de forma assíncrona, com integração nativa de áudio e vídeo, de vídeo animado e questionário, com vídeos gerados por IA.

4.1 Teste da Hipótese – Equalização Neural

O teste visa compreender se há a necessidade de realizar a equalização das ondas neurais que antecedem quaisquer experimentos com o uso do EEG em tecnologia educacional. Para a realização do teste, foi analisada a resposta neural do sujeito, sem induções de sentidos, como ocorreria em um teste de eletroencefalograma realizado atualmente em pesquisas de instrumentos educacionais.

Durante o teste, é realizada a análise do comportamento das ativações neurais do voluntário, sem quaisquer indução ou preparação prévia em busca de artefatos não inerentes ao processo. Após essa análise, é realizada a reprodução de uma música para contribuir para a indução do estado de relaxamento. Ao final do teste, é realizado a análise dos dados obtidos a fim de verificar se há a necessidade de realizar uma preparação prévia do sujeito, de forma a evitar a utilização de dados falso-positivos em pesquisas de quantificação da efetividade de ferramentas educacionais é verdadeira.

4.1.1 Materiais e Métodos

O público-alvo é composto de uma amostra aleatória de sete adultos com idades entre 30 e 50 anos, que fazem parte do curso de pós-graduação de uma universidade federal do sul do Brasil e que concordaram em participar do estudo. A pesquisa não oferece riscos aos voluntários, não havendo qualquer necessidade prévia de preparação ou medicação.

4.1.2 Processo Anterior ao Experimento

- 1) Determinação do público-alvo e adesão dos voluntários ao estudo.
- 2) Preparação do computador para a execução da música, sem qualquer indução visual que possa acarretar mudança do estado de relaxamento proposto.
- 3) Preparação de um segundo computador para a gravação do experimento.
- 4) Preparação prévia do Emotiv Pro+.

4.1.3 Processo do Experimento

- 1) Orientação sobre o estudo e seu objetivo aos voluntários.
- 2) Montagem do equipamento no indivíduo.
- 3) Gravação de, aproximadamente, 60 segundos antes da reprodução da música.
- 4) Reprodução da música para indução do estágio de baixa ativação neural (relaxamento).
- 5) Remoção do equipamento.

4.1.4 Orientação ao Voluntário

As informações de orientação transmitidas aos voluntários possuem o objetivo de evitar problemas de recepção dos sensores, bem como a variação de sinais cerebrais em caso de utilização de medicamentos.

- O voluntário do experimento deve ser orientado a se apresentar no dia da coleta com os cabelos limpos e secos, sem o uso de nenhum tipo de produto.
- O voluntário não deverá realizar exercícios ou esforço físico minutos antes do teste.
- O voluntário não poderá ter ingerido quaisquer medicamentos antes do teste; caso o tenha realizado, deverá ser informado da impossibilidade de realização do teste.

4.1.5 Preparação da Sala para a Coleta de Dados

O processo de acolhimento do voluntário minutos antes do teste será de suma importância, pois todo e qualquer estímulo, seja ele visual, auditivo ou de simples desconforto, poderá acarretar dificuldade em chegar no estado mental proposto. Logo, o voluntário deverá permanecer na sala de coleta com os seguintes cuidados:

- Sem quaisquer movimentações ou observadores diretos;
- Sem ruídos externos;
- Sentado em local confortável;
- Ambiente com temperatura controlada;
- Próximo do dispositivo de reprodução da música.

A música utilizada para o experimento foi a indicada por Eaton (2014) como referência à indução ao estado de relaxamento, correspondendo à trilha número 7 (*I'll take the road*, de Dave Reachill).

4.1.6 Processo de Execução do Teste de Equalização Neural

O *headset* deverá ser posicionado na cabeça do voluntário, observando para que os sensores tenham o maior contato possível com a pele do couro cabeludo limpo e seco. Ao colocá-lo, poderá ser necessário adequar o contato dos sensores de acordo com sua respectiva verificação de qualidade do sinal. Após a conclusão do processo de instalação e adequação do EEG, deverá ser disponibilizado um fone intra-auricular, que tem com o objetivo abafar ou excluir quaisquer sinais sonoros externos. Preferencialmente, é recomendado utilizar fones de ouvido com tecnologia de redução de ruído ativo com o objetivo de excluir quaisquer ruídos externos do ambiente, principalmente ruídos constantes como ar-condicionado, ventiladores e afins.

Na sequência, são registradas as ondas cerebrais do voluntário antes de ouvir a música, e após 60 segundo o voluntário ouvirá uma música para a indução do estado mental, como proposto por Eaton (2017). Após o término da música, o *headset* e os fones são removidos do voluntário e a coleta de dados é encerrada.

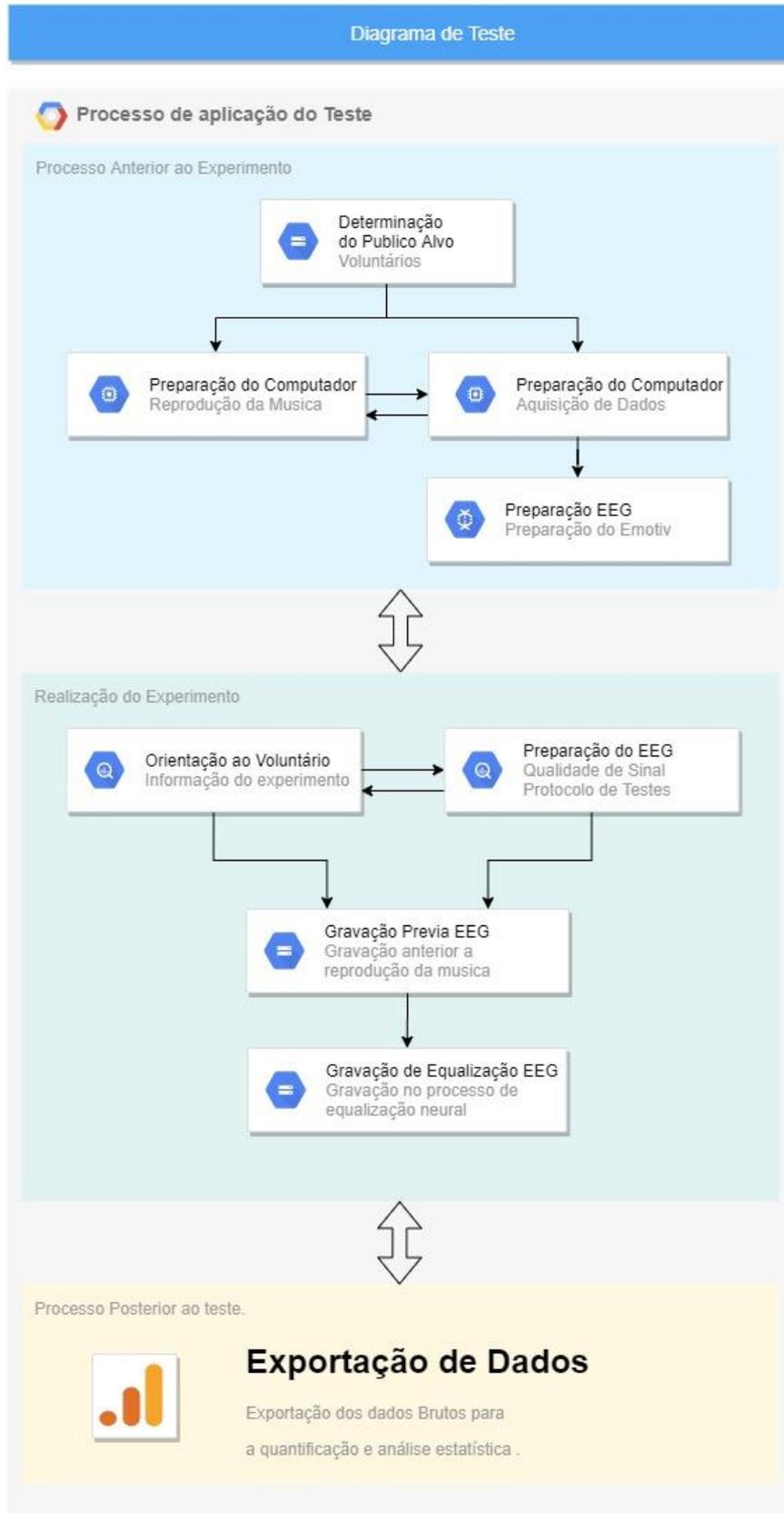


Figura 14 - Imagem representativa do processo de Teste
 Fonte: elaborado pelo autor.

4.2 Teste da Hipótese – Análise do Instrumento Educacional

O segundo teste de hipótese consiste na aplicação do conceito de *Design Thinking* a partir de ferramentas educacionais integradas a um ambiente online de aprendizagem e analisadas com uso do Eletroencefalograma e rastreamento ocular.

O respectivo teste de hipótese é realizado a partir da metodologia aplicada no primeiro teste, tornando-se subsequente à fase de equalização dos estados neurais equalizados do sujeito. O exemplo da aplicação do respectivo teste, na visão do voluntário, contemplando todas as suas etapas devidamente integradas ao LMS, encontra-se disponível no link privado, no YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=FingAe3gxCw>.

4.2.1 Materiais e Métodos

O público-alvo é composto de uma amostra aleatória de 12 adultos com idades entre 30 e 50 anos, com curso superior completo. O estudo não oferece quaisquer tipos de risco aos voluntários, por fazer uso de equipamentos eletrônicos normalmente utilizados em pesquisas, jogos digitais e afins.

As configurações de acesso do voluntário ao ambiente virtual de aprendizagem e a configuração dos equipamentos de aquisição de dados estão divididas em dois computadores, a fim de garantir que a aquisição de dados não cause quaisquer interferências na experiência do voluntário durante o processo de aprendizagem.

A configuração do equipamento a ser utilizado pelo voluntário deverá ser realizada previamente ao início de cada teste e consiste em:

- Calibração do Tobii Eye Tracker ao modelo de monitor utilizado.
- Navegador Google Chrome em modo tela cheia, com o objetivo de garantir a não interferência visual de quaisquer origens.
- Teste preliminar do sistema de áudio e vídeo.

A configuração do equipamento de aquisição de dados a ser utilizada pelo pesquisador consiste em:

- Configuração do *software* de aquisição de dados Emotiv Pro+ de acordo com o fabricante.

- Configuração da gravação do sinal de vídeo a partir do computador do voluntário, com o uso da placa de captura externa da marca Elgato no computador do pesquisador.
- Preparação prévia do Emotiv Pro+ de acordo com o fabricante.

A configuração do ambiente físico no qual os testes serão realizados deverá seguir o protocolo da Hipótese 1, levando em consideração a remoção de interferências visuais ou audíveis no local do teste.

4.2.2 Trilha de Aprendizagem Baseado em *Design Thinking*

O teste possui como premissa a aplicação de uma trilha de aprendizagem autogerida tendo como base o conceito de *Design Thinking* integrado ao ambiente virtual de aprendizagem D2L Brightspace.

O conceito de *Design Thinking* aplicado no teste proposto tem como objetivo a aprendizagem a partir da resolução de um problema de caráter ético chamado “O caso da ponte”, utilizado em cursos de Direito e resolução de conflitos, em que a troca de informações entre os membros do grupo resultará na resolução do problema. A trilha de aprendizagem é composta pelas etapas descritas a seguir.

Etapas 1: acesso do aluno ao AVA Brightspace.

Etapas 2: leitura das instruções referentes ao teste.

Etapas 3: calibração neural a partir da execução de uma música.

Etapas 4: visualização do vídeo animado explanando a história/problema proposto.

Etapas 5: realização do questionário baseado na interação entre membros do grupo.

Etapas 6: finalização da trilha de aprendizagem.

Na leitura das instruções do teste, é informado que a opinião e respostas dos voluntários não serão identificadas no ambiente de aprendizagem D2L Brightspace ou sujeita a quaisquer julgamentos.

4.2.3 Vídeo Animado

O vídeo animado tem como objetivo utilizar, simultaneamente, diferentes sentidos sensoriais (áudio e vídeo) para analisar a ativação neural do sujeito durante a sua utilização.

O vídeo descreve a história chamada de “O caso da ponte”, utilizada em cursos de Gestão de Conflitos e Direito, a fim de discutir diferentes pontos de vista em busca de uma solução coletiva ao problema proposto. A história consiste em uma animação composta por 10 cenas e seis personagens, em que se relata uma breve história de assassinato. O roteiro dessa história foi adaptado para a sua reprodução em formato de vídeo e disponibilizado nesta tese.

Para o desenvolvimento da animação, foi utilizada a ferramenta online Powtoon, a partir das seguintes etapas descritas:

1. Descrição dissertativa das respectivas cenas;
2. Gravação do áudio individual a partir da descrição de cada cena;
3. A criação de cada uma das cenas, respeitando o tempo de cada áudio;
4. A sincronização do áudio com as respectivas cenas;
5. A integração de todas as cenas em um único vídeo.;
6. A integração do vídeo na metodologia de aprendizagem no LMS.

Devemos salientar que o vídeo visa relatar um problema a ser resolvido por um determinado grupo de pessoas, que expressam a sua opinião em formato de questionário, possibilitando que o voluntário modifique a sua opinião/resposta a partir dos relatos dos demais membros do grupo. Logo, esse formato possibilitará simular o conceito de *Design Thinking* de forma assíncrona no LMS.

Os dados a serem analisados durante o vídeo são:

- Análise qualitativa do olhar do aluno enquanto visualiza o vídeo;
- Análise quantitativa dos dados brutos do EEG a partir do modelo matemático proposto;
- Análise quantitativa dos dados pré-processados e fornecidos pelo EEG Emotiv pro+.

A animação poderá ser acessada a partir de um link privado, no YouTube: <https://youtu.be/6Xg5obQ2Et0>, porém o acesso pelo aluno é realizado na forma de integração no ambiente online de aprendizagem D2L Brightspace, possibilitando que a experiência do usuário esteja mantida, sem a necessidade de acesso a uma diferente aba do navegador.



Figura 15 - Cenas da animação
Fonte: PRESTES, 2023.

4.2.3.1 Descrição das Cenas

A divisão da criação do vídeo em cenas visa facilitar o desenvolvimento da animação, a gravação e o tempo de cada áudio, bem como a sua posterior edição. Abaixo, segue a descrição das respectivas cenas.

Cena 1: Hoje você conhecerá a história da Maria que aconteceu na ponte da cidade onde ela morava. Maria era casada com João e eles se amavam muito. Mas, depois de um certo tempo, João começou a chegar em casa cada vez mais tarde. Maria, após perceber isso, passou a se sentir um pouco abandonada. Os dias foram passando e ela se sentia cada vez mais abandonada e sozinha neste relacionamento e procurou um antigo amigo, o Paulo.

Cena 2: Paulo morava do outro lado da ponte. Mas atenção, João e Maria ainda eram casados. Mesmo assim, Maria visitava todos os dias Paulo e voltava para casa sempre antes do seu marido chegar em casa. A partir daí, você pode imaginar que temos um triângulo amoroso, João, Maria e Paulo. Foi então, que em uma das vezes que Maria estava voltando para casa após seu encontro com Paulo, que ela foi surpreendida por uma situação que a deixou horrorizada!

Cena 3: Maria ao tentar atravessar a ponte, deparou-se com um bandido que atacava todos as pessoas ali presentes! Neste momento, Maria ficou muito apavorada e percebeu que não tinha nenhuma condição de seguir o seu caminho naquele momento.

Cena 4: Imediatamente, Maria voltou para a casa de Paulo e explicou-lhe, desesperadamente, a grave situação. Maria falou a Paulo que, se ela atravessasse a ponte naquele momento, seria assassinada! Mas se continuasse ali, João descobriria sua ausência! Em espera de resposta, deu-se um silêncio! Qual foi a sua surpresa? Paulo respondeu-lhe que não poderia ajudá-la e que o problema era somente dela.

Cena 5: Após esta situação, Maria sentiu-se sozinha e abandonada, saiu da casa de Paulo, tentando encontrar uma solução para conseguir atravessar a ponte em segurança. Angustiado, ela lembrou-se então de um amigo que morava perto da casa de Paulo. Maria dirigiu-se então para a casa do amigo, cheia de esperanças, pois estaria perto de uma solução. Quando lá chegou, explicou-lhe tudo que estava acontecendo e que precisava muito da sua ajuda. O amigo mostrou-se sensibilizado com a história dela, e ficou muito preocupado. No mesmo instante, decidiu ir até a ponte com ela para tentar lhe ajudar na travessia.

Cena 6: Quando eles chegaram na ponte, o amigo percebeu o que estava realmente acontecendo e, inevitavelmente, acovardou-se diante da situação. Mas, o amigo deu uma ideia para Maria. Ele sugeriu-lhe que os dois pedissem ajuda para um barqueiro que trabalhava perto da ponte e poderia ajudá-la. Os dois partiram ao encontro do barqueiro para providenciar que Maria pudesse ir embora!

Cena 7: Ao chegarem no local, prontamente o barqueiro aceitou levar Maria até a outra margem do rio. Mas, para isso, cobraria R\$ 500 reais pelo serviço. Maria voltou a ficar desesperada, pois nem ela nem o amigo tinham dinheiro! Eles insistiram, imploraram, relatando o risco de vida ali presente. Mas não adiantou, o barqueiro foi irredutível, e disse que esse era o trabalho dele e que ele precisava do pagamento para fazer a travessia.

Cena 8: Diante de toda essa situação, Maria não tinha mais escolha e a essa hora João já deveria estar impaciente à sua procura!. Desesperada decidiu voltar para a ponte para atravessá-la. Na busca de coragem, respirou fundo e correu para a travessia. Neste momento, a profecia anunciada aconteceu e Maria foi brutalmente assassinada!

Cena 9: Recapitulando nossa história. João e Maria eram um casal e depois de um certo tempo juntos, João começou a chegar cada vez mais tarde em casa. Maria, sentindo-se sozinha, procurou Paulo. Foi então que começaram a encontrarem-se diariamente, do outro lado da ponte

na cidade. Após cada encontro, Maria voltava para casa antes de seu marido chegar com o objetivo de evitar qualquer desconfiança. Em um determinado dia, um bandido estava atacando as pessoas que tentavam atravessar a ponte. Isso impediu que Maria pudesse voltar para casa naquele momento. Atordoada, Maria procurou ajuda com Paulo, com um amigo e com um barqueiro, mas não conseguiu achar uma solução. Foi então que ela decidiu atravessar a ponte e infelizmente foi assassinada.

Cena 10: Sei que você deve estar pensando muitas coisas e posso entender que essa história não apresenta muitos detalhes. Mesmo assim, conto com você para resolver um problema! De acordo com o que você leu e com as interpretações que realizou, quem é o maior culpado pela morte da Maria? E mais que isso, indique quem é o primeiro maior culpado, depois o segundo, o terceiro, o quarto, o quinto e o sexto culpado pelo ocorrido. Veja bem, você vai indicar, em ordem decrescente o maior até o menor culpado pelo ocorrido. Lembre-se que há seis personagens na história: Maria, João, Paulo, o barqueiro, o amigo e o bandido.

4.2.4 Questionário

O questionário tem como objetivo realizar a simulação da interação entre seis diferentes membros do grupo, a fim de apontar, em escala de grandeza, do maior ao menor, o culpado pelos fatos narrados no vídeo.

A primeira pergunta consiste em questionar o voluntário, em escala de grandeza, do maior ao menor, o culpado pelos fatos narrados, entre os seis personagens da história previamente visualizada em um vídeo animado, sendo a primeira colocação o maior culpado e a sexta colocação o menor culpado. As perguntas subsequentes consistem em vídeos representando diferentes membros do grupo que irá expressar a sua opinião, defendendo/culpando diferentes personagens da história, possibilitando ao aluno modificar a sua resposta ao final de cada interação.

Cada membro do grupo consiste em um avatar expressando o seu ponto de vista, porém sempre divergindo dos demais, pois cada um deles irá culpar um personagem diferente. Cada avatar relata a sua opinião, baseando-se em experiências anteriores, crenças religiosas, conhecimento prévio e valores sociais. Os questionamentos controversos foram escritos baseados em relatos de professores a partir da observação de alunos que realizaram o curso de Gestão de Conflitos, aplicado em universidades no Brasil e empresas, com suas mais diversas idades, crenças, classe sociais e experiências.

A utilização de avatares representa cada opinião de um grupo de pessoas com ideias/valores semelhantes, possibilitando um maior número de argumentos em cada defesa/pergunta do questionário. No desenvolvimento dos avatares, foi necessário realizar adaptações do texto devido a bloqueios do sistema de Inteligência Artificial utilizado, pois os avatares são atores reais que cederam o uso de suas imagens para este fim. Devemos salientar que a utilização de avatares tem o objetivo de não expor a imagem e/ou áudio de um membro do grupo ou pessoa real, replicando a heterogeneidade presente em uma sociedade.

A última pergunta consiste em dispor diferentes penalidades para cada colocação de culpa e novamente o voluntário poderá modificar a sua resposta final.

Durante o teste, há perguntas de resposta aberta com o objetivo de compreender se o voluntário deseja defender a sua opinião perante os demais membros do grupo. O questionário não possui uma resposta correta, mas sim a análise de como o voluntário se comporta perante cada interação entre os demais membros do grupo em busca de uma solução em comum. Logo, esse processo busca desenvolver a aprendizagem baseada na resolução de problemas e troca de experiências/informações.

A pergunta final do questionário busca compreender se um alto nível de penitência aplicado aos culpados fará com que o aluno realize a mudança de sua resposta ou desista de encontrar um culpado. Durante o questionário será analisado o seguinte:

- Análise qualitativa do olhar do voluntário enquanto visualiza a opinião contrária, a fim de compreender se há fuga do olhar durante o vídeo.
- Análise qualitativa do comportamento do aluno durante o teste.
- Análise quantitativa dos dados brutos do EEG a partir do modelo matemático proposto.
- Análise quantitativa dos dados pré-processados e fornecidos pelo EEG Emotiv pro+.

4.2.4.1 Descrição do Questionário

O questionário é composto por 10 perguntas com diferentes objetivos, descritos abaixo.

1ª pergunta

Formato: Pergunta dissertativa e resposta em forma de ordenação dos culpados.

Descrição: Você faz parte de um grupo de pessoas que deverão resolver um problema em conjunto. A partir da história relatada, quem você considera culpado em grau de grandeza, sendo o primeiro colocado o maior culpado e o último colocado o menor culpado?

Objetivo: Compreender a opinião do voluntário a partir da história previamente relatada, sem a interação da opinião contrária.

2ª pergunta

Culpado: **Maria**

Formato: Opinião de um membro do grupo em formato de vídeo e resposta em forma de ordenação dos culpados.

Base do argumento: Família tradicional, pilares religiosos, papéis sociais tradicionais de marido e mulher.

Objetivo: Compreender se a opinião controversa irá causar mudança da resposta inicial.

Descrição: Oi, na minha opinião a **Maria** é a maior culpada porque traiu João. Ela jamais deveria ter feito isso pois contrariou as leis do casamento. Ela foi vulgar e errada quando procurou um amante ao invés de salvar seu casamento. Isso é papel da mulher: lutar por seu casamento e entender as dificuldades que seu marido enfrenta. Se for uma mulher temente a Deus esse papel é ainda mais forte porque deve salvar sua família e pensar na sua rendição de sua alma. Além disso, ela não teve nenhum valor quando optou por arriscar sua vida ao invés de assumir que fez algo horrível e arcar com as consequências.



Figura 16 - Avatar desenvolvido por IA (Maria Culpada)
Fonte: PRESTES, 2023.

3ª pergunta

Culpado: **Bandido**

Formato: Opinião de um membro do grupo em formato de vídeo e resposta em forma de ordenação dos culpados.

Base do argumento: Argumento do direito, similar a um advogado de defesa.

Objetivo: Compreender se a opinião controversa irá causar mudança da resposta inicial.

Descrição: Oi, na minha opinião o **Bandido** é o maior culpado. Ele foi responsável pelo delito contra a Maria, foi ele quem executou o ato e não as circunstâncias. Claro, poderíamos pensar por que Maria estava na ponte, mas nada disso teria acontecido se não houvesse um bandido na ponte. A responsabilidade pelo ato é de quem o pratica, independente do fato que o gerou. O fato de uma mulher arriscar-se na ponte depois de uma situação de traição não gera o direito de alguém possa fazer tal ação. Maria foi vítima e não culpada! Sociedades existem em que a mulher adúltera é alvo de grave consequências. No livro sagrado, podemos interpretar que a mulher adúltera deve ser punida, mas na legislação brasileira o adultério deixou de ser crime, quando considerado uma questão moral.



Figura 17 - Avatar desenvolvido por IA (Bandido Culpado)

Fonte: PRESTES, 2023.

4ª pergunta

Culpado: **João**

Formato: Opinião de um membro do grupo em formato de vídeo e resposta em forma de ordenação dos culpados.

Base do argumento: Argumento de posição voltado a valores mais feministas.

Objetivo: Compreender se a opinião controversa irá causar mudança da resposta inicial.

Descrição: Oi, na minha opinião o **João** é o maior culpado porque se ele não tivesse agido com indiferença à sua esposa e não deixasse ela se sentir menosprezada, inclusive chegando tarde, isso não teria acontecido. Os homens sempre acham que podem fazer tudo que querem e normalmente não sofrem consequências. E desta vez Maria conseguiu revidar e buscar acolhimento, buscar atenção, carinho e segurança. Sentia tanto medo de falar a verdade que preferiu atravessar a ponte do que dizer ao seu marido o que se passava. Isso demonstra a ausência de confiança neste casamento. Todos podem dizer, por que não se separa, mas não é tão simples assim, há imposições como família, e valores sociais.



Figura 18 - Avatar desenvolvido por IA (João Culpado)
Fonte: PRESTES, 2023.

5ª pergunta

Culpado: **Paulo**

Formato: Opinião de um membro do grupo em formato de vídeo e resposta em forma de ordenação dos culpados.

Base do argumento: Argumento de valores individuais e culturais.

Objetivo: Compreender se a opinião controversa irá causar mudança da resposta inicial.

Descrição: Oi, na minha opinião o **Paulo** é o maior culpado, porque no momento em que ele e Maria estavam vivendo um romance, o Paulo poderia insistir que Maria ficasse ali com ele e assumir seu amor diante de todos. Se ele a tivesse encorajado para que Maria cuidasse da própria vida ela teria ficado viva! Mas ao contrário, ele foi perverso ao dizer que nada daquilo tinha a ver com ele, foi egoísta e mau caráter. Mas quem busca um amante muitas vezes não quer um relacionamento real, e então Paulo demonstrou isso de forma concisa, e que estava realmente brincando com os sentimentos de Maria, logo demonstrando covardia.



Figura 19 - Avatar desenvolvido por IA (Paulo Culpado)
Fonte: PRESTES, 2023.

6ª pergunta

Culpado: **Barqueiro**

Formato: Opinião de um membro do grupo em formato de vídeo e resposta em forma de ordenação dos culpados.

Base do argumento: Argumento de posição voltado a valores socialistas.

Objetivo: Compreender se a opinião controversa irá causar mudança da resposta inicial.

Descrição: Olá, na minha opinião o **barqueiro** é o maior culpado, porque ele poderia ter resolvido o problema, porém ao contrário do que se esperava, teve uma visão capitalista, com o objetivo de ganhar dinheiro a qualquer custo. O trabalho na sociedade capitalista confunde-se com o emprego, bem como sua função deixa de estar ligada à produção de valores de uso para produzir valores de troca, beneficiando o dono do dinheiro. O barqueiro era o único com reais condições de salvar Maria, mas preferiu ganhar o seu dinheiro como se as condições do contexto fossem normais.



Figura 20 - Avatar desenvolvido por IA (Barqueiro Culpado)

Fonte: PRESTES, 2023.

7ª pergunta

Culpado: **Amigo**

Formato: Opinião de um membro do grupo em formato de vídeo e resposta em forma de ordenação dos culpados.

Base do argumento: Argumento de senso comum, heroísmo.

Objetivo: Compreender se a opinião controversa irá causar mudança da resposta inicial.

Descrição: Oi, na minha opinião o **Amigo** foi o maior culpado, porque fingiu estar realmente preocupado com a situação de Maria, pois limitou-se a ajudar apenas compreendendo a situação, sem oferecer real ajuda, seja com a própria casa ou até mesmo um apoio moral verdadeiro, para que procurassem outra ajuda ou possibilidades para salvá-la. Ele foi complacente e fraco, sem oferecer real segurança à amiga. Quem precisa de inimigos com este amigo?

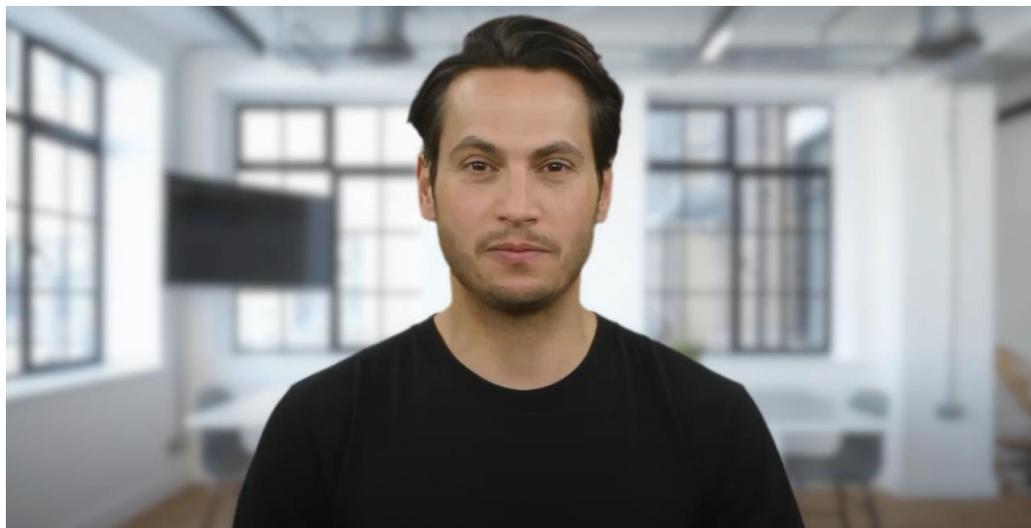


Figura 21 - Avatar desenvolvido por IA (Amigo Culpado)
Fonte: PRESTES, 2023.

8ª pergunta

Formato: Pergunta de resposta dissertativa opcional.

Descrição: Você poderá justificar/defender a sua resposta para os demais membros do grupo a fim de persuadi-los para que mudem a sua resposta em busca de uma solução comum.

Resposta dissertativa opcional.

Objetivo: Compreender se o voluntário possui a intenção ou não de expressar a sua opinião perante os demais membros do grupo.

9ª pergunta

Formato: Pergunta do tipo correspondência.

Base do argumento: Consequência a partir da escolha do grupo.

Objetivo: Compreender se a solução coletiva do problema proposto, a partir do grau de grandeza associado aos culpados da história previamente relatada, com uma possível consequência excessiva atribuída por um juiz, causará mudança na resposta do aluno.

Descrição:

Atenção!!! Atenção !!!

Uma nova informação foi compartilhada com o seu grupo, possibilitando que cada membro modifique a sua resposta de forma **individual e sigilosa**, antes do envio final.

Um mensageiro entrou na sala e informou as respectivas consequências para cada posição de culpa. Sendo a posição número 1 para o maior culpado e a posição de 6 para o menor culpado.

Culpado 1: pena de morte

Culpado 2: prisão perpétua

Culpado 3: prisão por cinco anos

Culpado 4: multa de 10 salários-mínimos e serviço social

Culpado 5: serviço social

Culpado 6: não haverá consequências

Essa é a última oportunidade de você modificar a sua resposta.

Quem você considera o maior culpado em grau de grandeza? O número 1 representa o maior culpado e o número 6 o menor culpado.

**Neste caso, você poderá não responder a qualquer uma das posições selecionando a opção "n/a".*

Resposta do tipo correspondência:

<input type="text" value="v"/>	O Ladrão	1. Culpado 01: Pena de morte
<input type="text" value="v"/>	O João (Marido)	2. Culpado 02: Prisão perpetua
<input type="text" value="v"/>	O Paulo (Amante)	3. Culpado 03: Prisão 05 anos
<input type="text" value="v"/>	A Maria	4. Culpado 04: Multa de 10 salários mínimos & Serviço Social
<input type="text" value="v"/>	O Amigo	5. Culpado 05: Serviço Social
<input type="text" value="v"/>	O Barqueiro	6. Culpado 06: Não haverá consequências.
		7. N/A: Gostaria de me abster a atribuir culpa a este personagem.

Figura 22 - Questão de correspondência na D2L Brightspace
Fonte: elaborado pelo autor.

10ª pergunta

Formato: Pergunta aberta de resposta dissertativa opcional.

Descrição: Esse campo é opcional para expressar quaisquer opiniões que julgar pertinente.

Objetivo: Compreender/analisar se o voluntário possui a intenção, ou não, de expressar a sua opinião perante o experimento proposto.

4.2.5 Dados Analisados Durante o Teste

O nível de aprendizagem analisado possui como base os seguintes itens:

- Análise quantitativa dos níveis de ativação neural provenientes do EEG, relacionando-os entre os diferentes lobos cerebrais a partir do modelo matemático proposto;
- Análise qualitativa do comportamento do voluntário durante o processo de aprendizagem a partir do rastreamento ocular;
- Análise dos dados quantitativos das variáveis de estresse, engajamento, interesse, atenção, foco e relaxamento, provenientes do *software* Emotiv;
- Análise dos dados provenientes do questionário aplicado após o experimento.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES DE HIPÓTESES PROPOSTOS

Os resultados dos testes são realizados de forma qualitativa e quantitativa, de acordo com as hipóteses previamente descritas.

5.1 Resultado do Teste da Hipótese – Equalização Neural

Os resultados do teste de hipótese de equalização neural são encontrados de forma qualitativa e quantitativa. A análise qualitativa resulta do comportamento do voluntário e dos movimentos realizados antes, durante e depois da reprodução da música. A análise quantitativa resulta da análise dos dados do EEG anteriores ao teste, durante e após o teste, bem como o resultado de quaisquer movimentos involuntários do participante e sua respectiva resposta no EEG. Caso o voluntário realize movimentos involuntários excessivos, como piscadas ou falha intermitente de algum sensor durante o experimento, os dados do teste deverão ser excluídos ou ignorados por não atender aos pré-requisitos determinados pelo teste ou tendenciar os dados a partir de artefatos não inerentes ao teste.

5.1.1 Movimentos Involuntários

Durante os testes, foi possível observar que todo e qualquer movimento muscular do voluntário, podendo ser apenas um movimento ocular ou até mesmo uma simples piscada, será observado em forma de onda neural em intensidade e frequência. Esses movimentos, muitas vezes involuntários ao sujeito e não inerentes à pesquisa, são considerados artefatos e não deverão ser contabilizados no processo de análise de dados, conforme demonstrado na Figura 23.

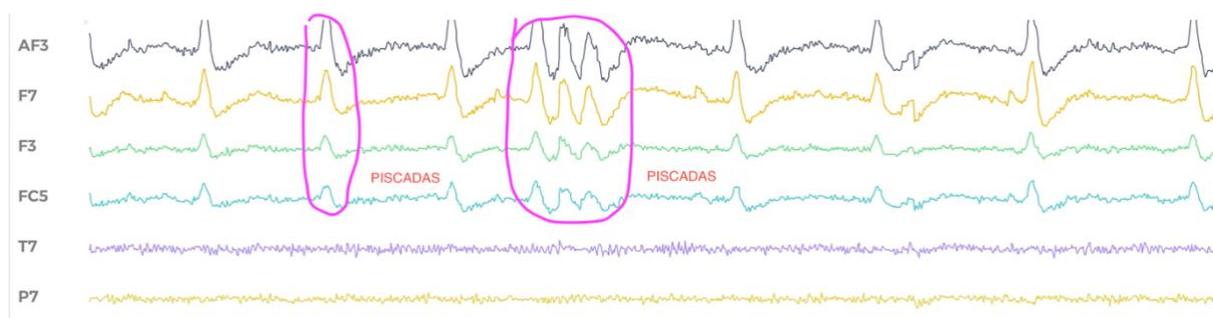


Figura 23 - Realização de piscadas pelo indivíduo
Fonte: elaborado pelo autor.

Na Figura 23, é possível observar que piscadas irão ocasionar ondulações no sinal neural, sendo necessário atenuar tais informações por não representar o instrumento de teste em si. Essa primeira observação demonstra que até um simples movimento ocular, se não observado com atenção, poderá causar análise de dados quantitativos incorretos, reforçando a necessidade da equalização neural e análise do comportamento do voluntário e seus respectivos artefatos gerados nos dados coletados.

Outro ponto é a possível falha de contato de algum sensor durante o teste, ocasionando um valor zero no sinal de EEG. Nesse caso, os valores deverão ser excluídos da análise final. A utilização de um maior número de sensores em um mesmo lobo cerebral possibilita que as informações inerentes ao teste sejam preservadas. Logo, a redundância ou uma maior quantidade de sensores em um mesmo lobo é de fundamental importância para uma análise de dados mais precisa no uso do EEG. Cabe salientar que essa observação não necessariamente é demonstrada no *software* de representação visual da Figura 3, somente na análise bruta dos dados, pois o Emotiv-Pro+ exporta de 128 a 256 dados por segundo por sensor, impossibilitando tal observação visual.

5.1.2 Resposta Neural Anterior ao Estado Proposto

O período de gravação que antecede a execução da música possui as ondas cerebrais do voluntário ativas e não homogêneas, de acordo com o seu estado emocional ou movimentos realizados, apesar de toda a preocupação do processo que antecedeu os testes. Estes estados não podem ser quantificados durante a análise de um instrumento educacional, pois serão diferentes, não homogêneos, entre todos os voluntários, conforme mostra a Figura 24.

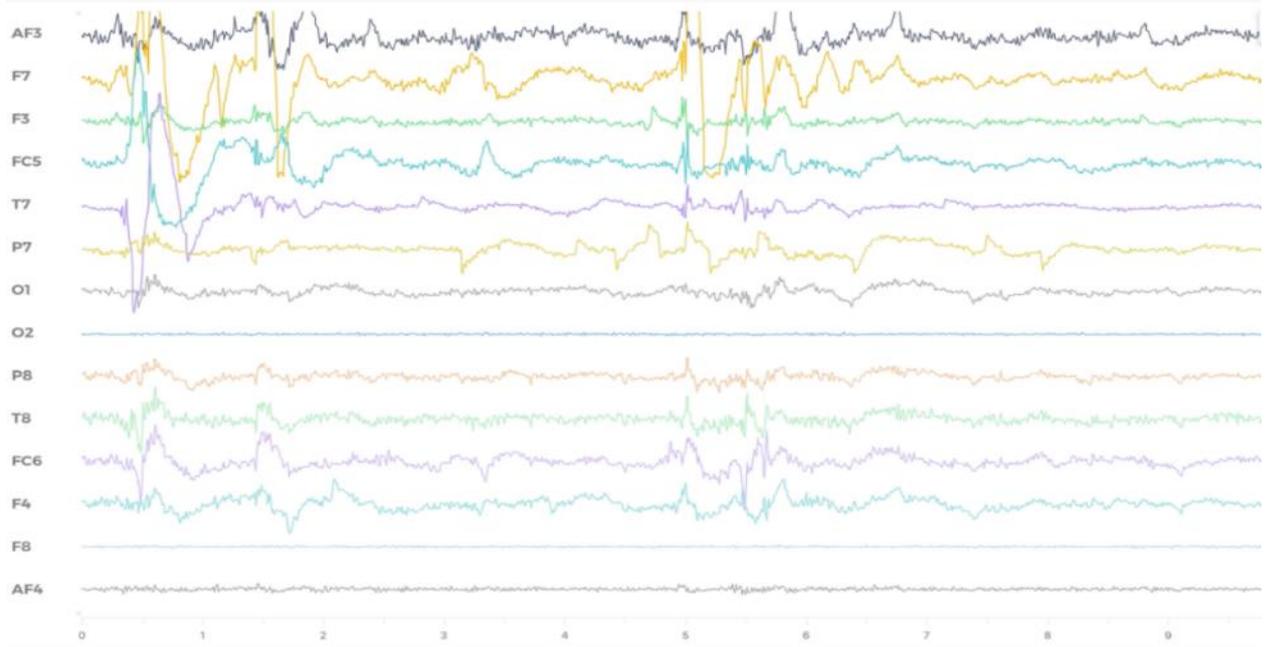


Figura 24 - Estado anterior à execução da música
 Fonte: elaborado pelo autor.

A figura 24 mostra um exemplo de ativação neural anterior ao teste salientando a importância de uma equalização dos dados antes de quaisquer análises de instrumento educacional com o uso do EEG.

5.1.3 Resposta Neural Posterior ao Estado Proposto

A partir do momento de execução da música, o voluntário rapidamente inicia o processo de equalização/calibração do cérebro para um estado de baixa ativação neural. O tempo de chegada ao estado de homogeneização das ondas neurais não será linear, pois dependerá de aspectos não quantificáveis do indivíduo como seu estado anterior, tempo de relaxamento a partir da música escolhida ou até mesmo a sua capacidade de chegar a esse estado a partir do processo proposto. Na Figura 25 será possível observar o estado neural dos sujeitos no período de homogeneização.

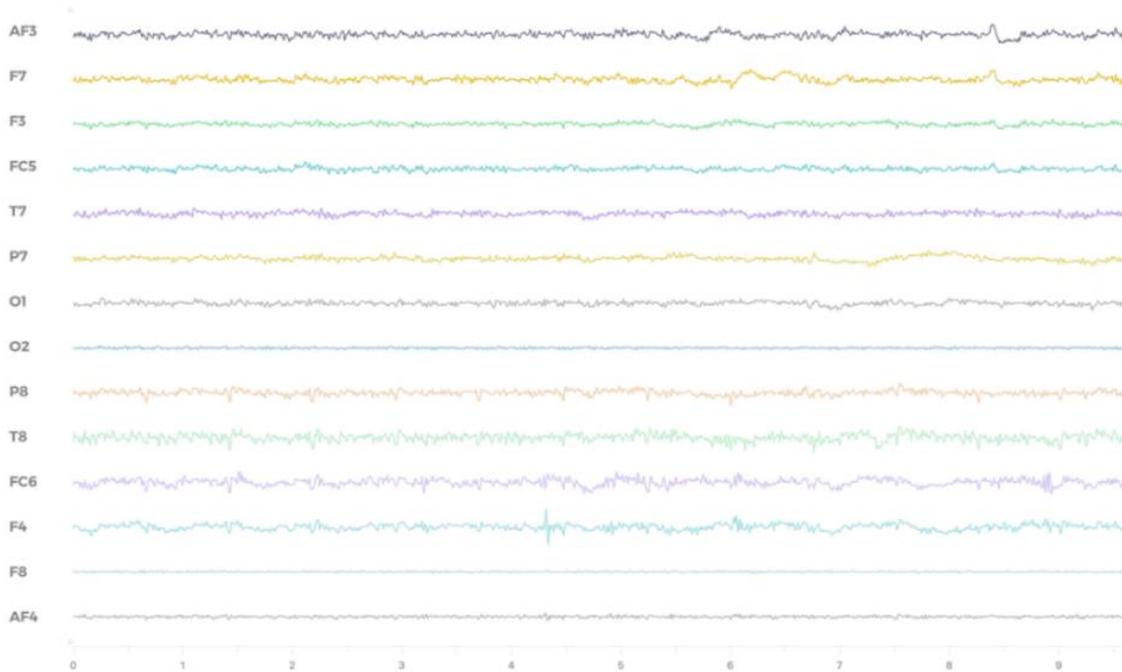


Figura 25 - Estado neural de equalização
Fonte: elaborado pelo autor.

A partir da análise dos dados, foi possível observar que todos os voluntários chegaram ao estado proposto antes de 30 segundos da execução da música, e assim se mantiveram até a sua finalização. Os estados neurais que antecedem a música são heterogêneos entre os participantes, como suposto, porém, a partir do período de estabilização com o uso da música, todos os voluntários obtiveram respostas semelhantes.

A Figura 25 demonstra que é possível equalizar os dados neurais a partir da execução de uma música e, conseqüentemente, que os dados analisados após essa equalização será uma resposta direta ao instrumento educacional a ser analisado, reduzindo a análise equivocada de artefatos e dados não inerentes ao experimento.

5.1.4 Análise Bruta dos Dados

O equipamento, Emotiv Pro+ disponibiliza 14 canais em um arquivo CSV com 256 dados brutos por canal, por segundo. Durante o teste, foi possível analisar e calcular a variação do sinal, com valores máximos e mínimos, antes e depois do processo de equalização. O cálculo da variação do sinal, bem como o percentual entre o seu valor máximo e mínimo, foi realizado das formas descritas a seguir.

Caso 1: análise da média da variação entre o valor máximo-mínimo dos sinais brutos de cada voluntário antes e depois da equalização proposta.

Caso 2: análise da variação dos sinais entre o valor máximo-mínimo da média das médias dos dados brutos por canal, por segundo, por voluntário.

- 1 Etapa – Média dos valores individuais de cada sensor por segundo (o equipamento fornece 256 dados por segundo).
- 2 Etapa – Média das médias de todos os canais de um voluntário.
- 3 Etapa – Média de todos os voluntários.

Caso 3: análise da variação dos sinais entre o valor máximo-mínimo da média das medianas dos dados brutos por canal, por segundo, de cada voluntário.

- 1 Etapa – Mediana dos valores individuais de cada sensor por segundo (atenuar o efeito de ruídos ou movimento involuntários não inerentes ao teste).
- 2 Etapa – Média das medianas de todos os canais de um voluntário.
- 3 Etapa – Média de todos os voluntários.

Tabela 5 - A média da variação do sinal de todos os participantes de acordo com cada caso descrito anteriormente. Fonte: elaborado pelo autor.

Caso	variação do sinal não equalizado	Variação do sinal equalizado
Caso 1	27%	12%
Caso 2	13%	5%
Caso 3	11%	4%

Os dados demonstram que a variação do sinal é significativa antes e depois da aplicação da equalização do sujeito. Os valores entre os casos 2 e 3 não são significativamente expressivos, pois se durante o teste fossem identificados, de forma qualitativa, quaisquer movimentos involuntários, expressivos e repetitivos, bem como falha intermitente de algum sensor, os dados do teste seriam excluídos do experimento por não atender aos pré-requisitos determinados.

5.2 Resultados e Conclusões do Teste da Hipótese – Instrumento Educacional

Os resultados e as conclusões referentes ao segundo teste de hipótese foram divididos em diferentes etapas (equalização, reprodução do vídeo e questionário) devido à grande quantidade de dados gerados durante o experimento. A análise dos resultados em cada uma das etapas são:

- Análise qualitativa geral do comportamento do sujeito durante o teste.
- Análise quantitativa do EEG a partir do modelo matemático proposto.
- Análise quantitativa do EEG a partir do fabricante Emotiv Pro+.
- Análise quantitativa e qualitativa do questionário.

5.2.1 Análise Qualitativa Geral do Comportamento do Voluntário Durante o Teste

Durante os testes, foi possível observar diferentes comportamentos do voluntário a partir de respostas corporais a diferentes etapas. Alguns comportamentos somente foram percebidos pelo observador a partir da análise, em tempo real, do EEG, por não serem visualmente perceptíveis durante o teste.

5.2.1.1 Etapa de Equalização

Durante a etapa de equalização, foi observado que o voluntário, independentemente do seu estado neural anterior, iniciava o estado de equalização a partir de aproximadamente 30 segundos da execução da música. Entre o período de 30 segundos a 1 minuto, o estado de equalização tornava-se cada vez mais constante e crescente, com um menor número de interferências *spike signal* entre o estado anterior e o de equilíbrio. Entre o período de 1 a 2 minutos, o estado de equalização era alcançado com estabilidade. A partir de 2 minutos de reprodução, era possível observar a impaciência do aluno, desejando acelerar o tempo da música para iniciar a próxima etapa do teste. Apesar desse desejo, nenhum aluno realizou essa ação por acreditar que poderia prejudicar o teste proposto. A impaciência observada a partir do segundo minuto de reprodução era percebida em tempo real a partir de saltos de sinal, *spike signal* no EEG, porém visualmente não perceptíveis. A partir do comportamento do sinal, o observador buscava compreender o motivo de tal resposta neural, sendo observada a sua ocorrência por meio de piscadas e leves movimentos com os pés ou dedos das mãos para acompanhar a melodia.

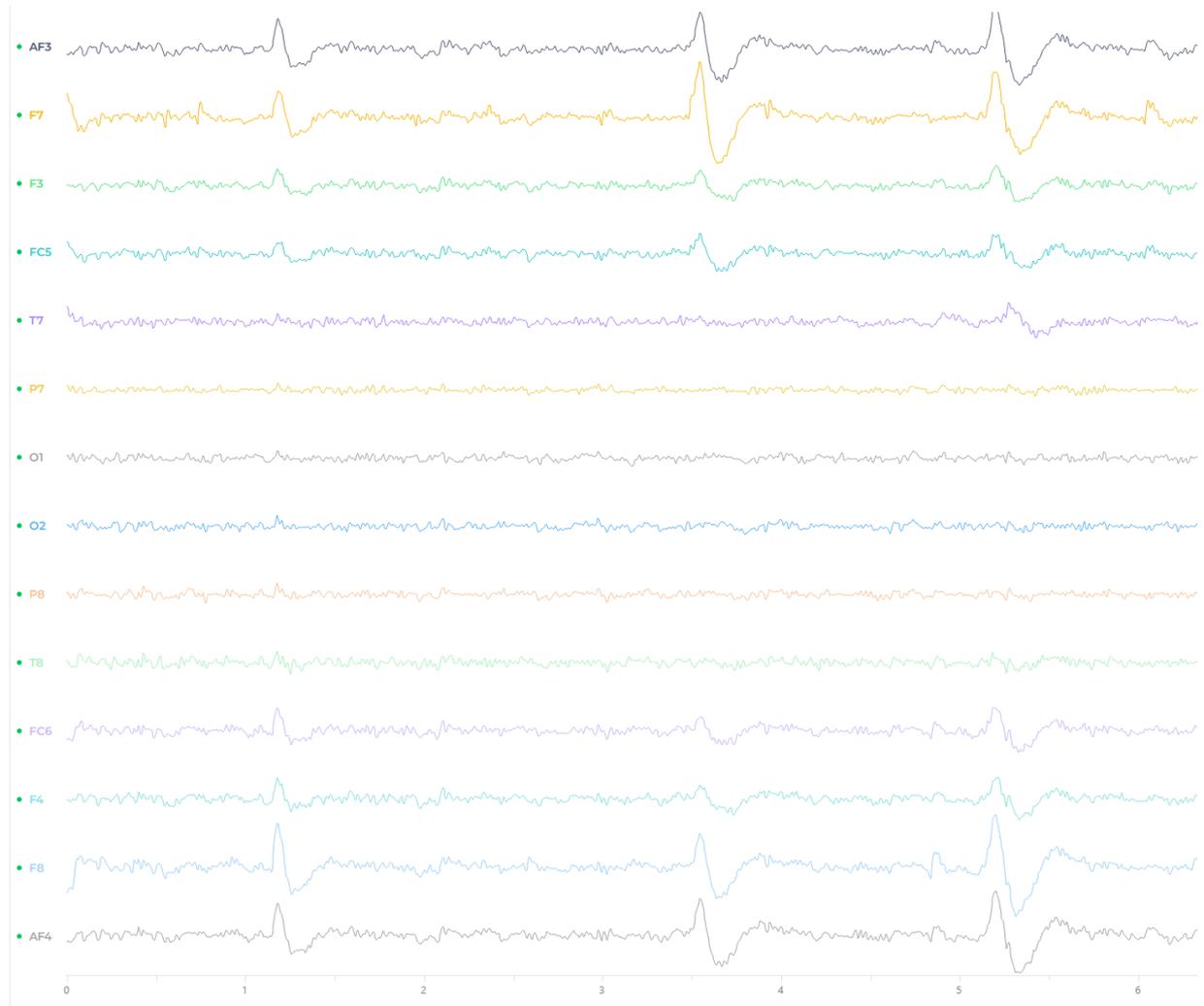


Figura 26 - Movimentos voluntários acompanhando a música no EEG Emotiv Pro+
Fonte: O autor.

A partir da Figura 26, é possível observar que havia movimentos repetitivos, comportamento da onda, nos sensores (AF3, F7, F3, FC5, T7, FC6, F4, F8 AF4), de forma degradativa. Todavia, os sensores (P7, O1, O2, P8, T8) mantiveram-se constantes, com poucos efeitos relacionados ao movimento. A partir dessa análise, era possível compreender que se tratava de movimentos involuntários e, muitas vezes, repetitivos. Essa conclusão se dá ao fato de o comportamento do sinal ocorrer em sensores específicos, responsáveis pelos movimentos do corpo que vão perdendo intensidade a partir da distância do ponto central que gerou a ação elétrica. O sinal para tal movimento era percebido devido à análise do sinal em sua janela de ocorrência, recorrência, frequência e comportamento, pois, após a sua execução, o sinal voltava ao estado de equilíbrio, em harmonia aos demais sensores do EEG.

Tabela 6 - Comportamento do EEG no tempo. Fonte: elaborado pelo autor.

Tempo	Comportamento
< 30 segundos	Estado de compreensão.
De 30 a 60 segundos	Estado de equalização cada vez mais homogêneo em razão do tempo, com um menor número de interferências (<i>spike signal</i>).
De 60 a 120 segundos	Estado de equalização com estabilidade de sinal em razão do tempo.
+ de 120 segundos	Início de artefatos de sinal ocorridos por impaciência do sujeito proporcional ao tempo de execução.

Se compararmos o comportamento do voluntário com o primeiro teste de hipótese, é possível observar que o objetivo do teste interfere no comportamento do participante. O primeiro teste de hipótese tinha como objetivo escutar uma música, e o sujeito, primariamente, não apresentava sinais de ansiedade ou necessidade de avançar a música. No segundo teste de hipótese, a música não retrata o objetivo primário de análise, e o voluntário, após o segundo minuto de reprodução, desejava acelerar o tempo da música para iniciar a próxima etapa. A partir dessa análise, recomenda-se utilizar músicas com tempo não superior a 2 minutos, em busca da efetividade de equalização com menor interferência de sinal.

5.2.1.2 Etapa de Visualização do Vídeo

Nessa etapa, o rastreamento ocular foi realizado a partir do equipamento Tobii Eye Tracker 5, previamente instalado e calibrado no monitor utilizado pelo voluntário. O equipamento foi de fundamental importância para compreender o local no qual o participante visualizava o vídeo e o seu respectivo comportamento no decorrer de sua execução. Os aspectos observados foram:

- O voluntário seguia o movimento e o comportamento dos personagens durante a execução do vídeo;
- Durante as falas e/ou logo após o movimento de um personagem em destaque, o voluntário voltava rapidamente o olhar aos demais personagens da cena, a fim de compreender/esperar uma possível reação dos demais a partir das ações/falas do personagem em destaque no momento. Devemos salientar que esse movimento era extremamente rápido, objetivando compreender não somente a reação, mas a próxima possível cena da animação;
- O movimento ocular apresentava ser mais responsivo ao narrador da história e não necessariamente ao movimento dos personagens. Inicialmente, esperava-se que o

movimento do personagem tivesse caráter predominante no olhar do voluntário, porém isso não foi decisivo em uma história narrada. Provavelmente, esse fato ocorreu em consequência de os personagens não terem voz própria, já que a história é narrada por um terceiro;

- O voluntário, em nenhum momento, fugiu o olhar do vídeo ou perdeu a atenção durante a sua execução, garantindo que o EEG representava diretamente a resposta de sua execução, sem quaisquer distrações;
- Durante o vídeo, foram observados comportamentos dos sinais do EEG em resposta a movimentos faciais dos voluntários. Somente foi observado o movimento facial juntamente com a análise em tempo real do EEG, pois tal ação passava despercebida pelo observador;
- A partir da compreensão do observador relativa à resposta padronizada neural dos voluntários, a análise do comportamento passou de ser uma tentativa de compreensão do que estava ocorrendo (“O que significa esse sinal de EEG?”) para uma afirmação (“Acho que ele está sorrindo. Sim, está sorrindo” ou “Ele está piscando lentamente?” e “Sim, ele está piscando lentamente.”). Essa observação torna-se relevante, pois caso o voluntário fosse constantemente observado e/ou gravado durante o teste, poderia causar quaisquer desconforto ou interferência no objeto a ser analisado, no qual o meio poderia interferir no resultado.
- A partir da finalização da animação dos personagens e do início da narração do resumo, o nível de interesse e atenção do voluntário baixava de forma significativa.

5.2.1.3 Etapa do Questionário

Durante o questionário, foram realizadas observações referentes ao comportamento dos voluntários ao longo de toda a sua realização. Cabe salientar que, durante o teste, foi informado que a resposta final seria realizada a partir da opinião do grupo e não de forma individualizada. As seguintes observações foram realizadas:

- Não ocorreram quaisquer observações relevantes referentes à primeira pergunta, pois, ao final do vídeo, já era feito o questionamento sobre o que deveria ser realizado a seguir, não retratando quaisquer surpresas no início do questionário;
- A maioria dos voluntários, salvo uma única exceção, não esperava a justificativa dos vídeos dos avatares para iniciar as respectivas respostas. Geralmente, o

primeiro vídeo era observado com maior atenção; porém, após a compreensão da estrutura e objetivo das questões, essa mesma atenção não era observada nas demais questões, o que resultava em uma degradação da atenção ao longo do tempo;

- Alguns voluntários avançaram para a questão seguinte antes da finalização do vídeo de justificativa do avatar. Deve-se salientar que o avatar representava a opinião de um membro do grupo do voluntário;
- Caso o voluntário tentasse avançar uma questão sem respondê-la completamente, fosse ela de caráter obrigatório ou não, um alerta era mostrado na tela, solicitando a confirmação da ação. Quando tal alerta ocorria, o voluntário sempre realizava a leitura e voltava para reanalisar a questão, causando um efeito positivo;
- O vídeo iniciava com a opinião do interlocutor sobre quem seria o maior culpado pelo incidente anteriormente narrado e, após a primeira frase, os argumentos que a sustentavam eram majoritariamente ignorados pelos voluntários;
- Durante o teste, os voluntários realizavam movimentos de cabeça afirmativos/negativos, expressões faciais, movimentos com as mãos e demonstravam uma necessidade latente de rebater os argumentos apresentados;
- Na questão referente às consequências que seriam atribuídas aos personagens da história, os voluntários se mostravam surpresos e a realizavam com muito mais atenção em comparação às demais questões.

5.2.1.4 Observações Qualitativas Gerais

Ao final do teste, o voluntário era novamente informado que o observador não tinha conhecimento das suas respectivas respostas. Depois, eram mostradas as observações comportamentais realizadas durante o seu experimento, questionando-o se havia alguma não concordância e se ele gostaria de discuti-la. O participante majoritariamente respondia que as observações eram verdadeiras e que ficou surpreso com tais informações, mas que ele não havia observado esse comportamento durante todo o teste.

Os voluntários, sempre após o experimento, queriam discutir quem seria o maior culpado, e estes eram, contudo, informados de que a resposta em si não era relevante, mas sim se durante o teste ocorrera a mudança de opinião perante a explanação dos demais membros do

seu grupo. Sempre após essa explicação, o participante justificava a sua opinião de quem seria o maior culpado e o observador somente a escutava.

Na observação, continha a seguinte frase: "O voluntário não esperava a justificativa do seu colega para iniciar a sua respectiva resposta". Logo após a explicação do participante, o observador salientava tal observação e perguntava se ele gostaria de comentá-la. A resposta, na maioria das vezes, era que sua opinião já estava formada e que a opinião do outro não mudaria sua resposta. A partir dessa resposta, o observador contra-argumentava que, no início do teste, havia sido informado que a resposta final seria realizada em grupo. A resposta, majoritariamente, era que sua opinião não mudaria ou que não se atentara a esse detalhe, de forma defensiva. Devemos salientar que essa informação estava presente em vários momentos do teste, seja no vídeo, na descrição do que seria realizado no questionário ou em questões não obrigatórias do questionário, que permitiam que o voluntário se justificasse com o objetivo de persuadir os demais colegas. Porém, apesar de sempre responder a esta pergunta, terminantemente negligenciava o motivo pelo qual a respondia.

Após escutar todos os argumentos do voluntário referente ao caso, jamais era expressa a opinião do observador ou qualquer contra-argumento, a fim de não criar discussão sobre o tema ou quaisquer desconfortos. O observador apenas afirmava que não havia resposta correta e que as respostas eram individuais e não identificáveis.

Ao final, antes de agradecer por sua participação, o observador fazia a seguinte afirmação: "Você pode observar que nas minhas anotações continha a seguinte frase: 'O voluntário justificou sua resposta após a argumentação dos seus colegas' e 'O voluntário não esperava a justificativa do seu colega para iniciar a sua respectiva resposta'". Após novamente mostrar ambas as observações e informar que a justificativa não era identificada e que o observador não tinha conhecimento sobre seu conteúdo, mas apenas o fato de que a tinha realizado, o observador questionava: "Qual seria o motivo pelo qual os demais membros do grupo deveriam considerar suas argumentações, se você aparentemente não as considerou durante o questionário?" Novamente, era informado que, se fosse de sua preferência, não era necessário respondê-la.

A resposta a esta pergunta geralmente vinha com um sorriso e uma autoafirmação de que não mudaria sua resposta, de que a opinião do outro não era relevante no caso descrito, relatando argumentos presentes nos vídeos, e que estava prestando atenção enquanto respondia a respectiva pergunta. Ou simplesmente afirmava que não se atentou ao fato de que a resposta final seria realizada em grupo e novamente justificava sua opinião ao observador. Ao final, o observador informava que não havia resposta correta e agradecia a participação.

5.2.2 Análise Quantitativa do EEG a Partir do Modelo Matemático Proposto

A análise do modelo matemático proposto busca compreender o lobo de maior atividade em cada uma das etapas do teste e o seu efeito proporcional aos demais lobos do cérebro.

Para a realização dos testes, foram utilizados os dados previamente fixados no *software* desenvolvido pelo autor, conforme imagem abaixo.

The image shows a software interface for EEG data analysis. It is divided into three main sections: Lobe Relational Activation (AR), Cerebral Cortex Volume, and a citation.

Lobe Relational Activation (AR)

Lobe Parietal (AR)		Lobe Occipital (AR)	
Lobe Parietal (%)	50	Lobe Parietal (%)	20
Lobe Frontal (%)	20	Lobe Frontal (%)	0
Lobe Occipital (%)	10	Lobe Occipital (%)	50
Lobe Temporal (%)	20	Lobe Temporal (%)	30

Lobe Temporal (AR)		Lobe Frontal (AR)	
Lobe Parietal (%)	30	Lobe Parietal (%)	30
Lobe Frontal (%)	10	Lobe Frontal (%)	50
Lobe Occipital (%)	10	Lobe Occipital (%)	0
Lobe Temporal (%)	50	Lobe Temporal (%)	20

Cerebral Cortex Volume

Lobe Parietal (%)	19	Lobe Occipital (%)	18
Lobe Frontal (%)	41	Lobe Temporal (%)	22

(Kennedy et al., Cerebral Cortex, 8:372-384, 1998.)

Figura 27 - Entrada de dados no software EEG Data Analysis desenvolvido pelo autor
Fonte: elaborado pelo autor.

Para a inserção dos dados no *software*, foram utilizadas as seguintes premissas.

Lobe Relational Activation (AR): a ativação relacional leva em consideração o respectivo lobo de referência com o valor igual a 50%, atribuindo a ele a maior importância perante os demais. Os demais lobos adjacentes ao de referência receberão valores proporcionais ao seu perímetro de contato. Devemos levar em consideração que o cérebro não possui valores

estritamente exatos, logo tais valores são estimativas a partir de imagens tridimensionais do cérebro e poderão sofrer alterações.

Cerebral Cortex Volume: os valores utilizados são referentes à pesquisa realizada na Washington University, devidamente citada na imagem 27.

Para a análise dos dados de Ativação Relacional (AR), é necessário compreender que, dependendo dos dados obtidos, poderá ser necessário realizar uma análise complementar das ativações individuais dos lobos. Com o objetivo de facilitar tal análise e considerando os dados pré-determinados neste teste de hipótese, é possível utilizar a tabela 7 como referência.

Tabela 7 - Tabela de análise da ativação relacional do lobo de referência, sendo ele de maior intensidade individual Fonte: elaborado pelo autor.

Lobo referência	Lobos vizinhos	Conclusão
Próximo de zero	n/a	Ativação extremamente baixa. Verificar sensores.
Valores próximos a 30%	Ativação independente próxima à de referência. Variação < 5%.	Baixa ativação Alta correlação.
Valores próximos a 30%	Baixa ativação independente, com variação > 5%.	Baixa ativação Baixa correlação.
Valores próximos a 50%	Ativação independente próxima à de referência, com variação < 5%.	Moderada ativação Alta correlação.
Valores próximos a 50%	Baixa ativação independente, com variação > 5%.	Alta ativação Baixa correlação.
Valores próximos a 80%	n/a	Alta ativação e correlação

A Ativação Relacional (AR) entre os lobos, independentemente do lobo de referência, não apresentou variação superior a 5%, se analisarmos os dados previamente processados a cada segundo. Os valores quantificados de AR variaram entre 43% e 46%, independentemente do lobo. De acordo com a Tabela 7, é possível afirmar que o sinal possui, em sua média, moderada ativação com alta correlação. Com o objetivo de compreender o comportamento do cérebro durante todo o teste de hipótese, foi realizada a análise dos dados no tempo, com as seguintes conclusões:

- Movimentos involuntários relacionados a piscadas propagavam seu sinal de forma a degradar entre os sensores, porém não se mantinham ao longo do tempo nem de forma relevante entre os lobos. Como o tempo de ocorrência era inferior a 1 segundo, conforme esperado, e a intensidade do sinal no início e no final da ocorrência de uma piscada se mantinha extremamente similar em amplitude, esses sinais eram excluídos do cálculo da análise dos dados conforme previsto (uso da mediana);
- Durante a execução da música, era possível visualizar uma constante baixa nos níveis de ativação. Quando ocorria uma queda de ativação em algum dos lobos, os demais seguiam a mesma premissa, reduzindo a níveis de equalização, conforme esperado. Esta queda ocorria no mesmo segundo do enjanelamento do sinal ou no segundo posterior. Se analisarmos o momento de sua ocorrência como o início de uma janela de análise de 1 segundo, os demais lobos respondiam no mesmo período;
- Durante a execução do vídeo, era possível visualizar picos de sinal entre mudanças de cenas e/ou eventos significantes, que se mantinham por poucos segundos e se propagavam proporcionalmente entre os lobos. Isso não ocorria com sinais involuntários como piscadas ou movimentos repetitivos. É importante salientar que, se não houvesse filtros de sinal que excluíssem os movimentos involuntários de alta intensidade, mas baixa propagação entre os sensores, o valor do cálculo da média de ativação de um ou mais sensores seria amplificado consideravelmente, criando um falso positivo;
- Durante o período do questionário, os níveis de ativação foram consideravelmente maiores do que nas demais fases do teste, com picos ocorrendo a cada mudança de questão. Nesse evento, o sinal se mantinha alto e/ou com baixa degradação ao longo do tempo, diferentemente do vídeo, iniciando sua queda gradual a partir do momento em que o voluntário iniciava sua resposta. É importante salientar que o coeficiente de correlação entre os lobos era alto e proporcional em todo o período;

- Conforme previsto, foi possível, em todo o teste de hipótese, manter um alto grau de correlação entre os lobos, cuja intensidade/significado poderá ser avaliada a partir da correlação do AR com a análise qualitativa das métricas disponibilizadas pelo Emotiv. Ao analisarmos os dados antes da equalização da música, verificamos que não havia uma correlação harmônica direta entre os lobos, dificultando quaisquer análises de dados representativas do teste em si. Nesse caso, a equalização e a análise posterior das ferramentas educacionais mostraram-se eficientes, atenuando quaisquer sinais não inerentes à pesquisa.

Durante o teste, buscava-se com sucesso uma ativação moderada e/ou alta dos lobos, porém com alta correlação, a fim de ativar diferentes áreas do cérebro, abrangendo emoções, raciocínio lógico, e memória de curto e longo prazo.

5.2.3 Análise Quantitativa do EEG a partir do Fabricante Emotiv Pro+

O *software* Emotiv realiza a análise dos dados brutos do EEG disponibilizando os níveis de estresse, engajamento, interesse, atenção, foco e relaxamento. Esses dados são disponibilizados em formato de porcentagem, gerando um ponto do gráfico a cada dez segundos.

Tabela 8 - Média dos dados gerados pelo Emotiv nas diferentes etapas do teste de hipótese proposto.
Fonte: elaborado pelo autor.

	Música	Vídeo	Questionário
Estresse	42%	41%	45%
Engajamento	65%	66%	64%
Interesse	49%	51%	54%
Atenção	46%	45%	55%
Foco	39%	41%	48%
Relaxamento	30%	29%	26%

A realização da análise dos dados do respectivo teste de hipótese foi realizada a partir da análise individual do comportamento dos pontos do gráfico em cada uma das suas categorias disponíveis no Emotiv, em comparação com a gravação da tela de cada voluntário,

individualmente. Após a análise de todos os voluntários com suas respectivas telas, foi realizada a agregação dos dados brutos referente à Tabela 8, sendo possível obter as seguintes conclusões.

- Ao analisar os dados brutos no tempo, é possível afirmar, de forma incisiva, que apesar das médias não possuírem valores expressivamente diferentes, o comportamento dos níveis de sinal variava de forma distinta.
 - Período da música: durante a música, houve muito pouca variação do sinal em todas as categorias.
 - Etapa do vídeo: os valores médios eram próximos aos da música, porém havia maior variação com picos de sinal, principalmente durante a troca de cenas em todas as categorias.
 - Período do questionário: a diferença era mais perceptível, com picos expressivos nos 10 segundos iniciais de cada questão e a mesma intensidade de queda nos 10 segundos finais. Esta variação era extremamente alta na questão dissertativa. A questão referente aos níveis de consequência causou picos fora dos padrões anteriormente analisados.
- **Estresse:** Os níveis de estresse, a partir do momento em que o voluntário entrava em estado de harmonização neural, tendiam a se manter estáveis, com um leve aumento durante o questionário. No início de cada questão, havia picos de alto estresse, que eram atenuados a partir do momento em que o participante iniciava sua resposta. Enquanto a música e o vídeo apresentavam picos próximos a 50%, o questionário mantinha picos próximos de 60%, exceto nas questões finais dissertativas, em que os picos variavam de 70% a 90%, mas eram atenuados logo no início das respostas.
- **Engajamento:** Os níveis de engajamento eram mais estáveis entre as diferentes etapas do teste em relação à média. Contudo, havia picos de 70% nas questões relacionadas aos vídeos com as opiniões dos colegas, e quedas bruscas nas questões dissertativas referentes às justificativas individuais, chegando a 40%. Nas questões dissertativas, demonstrava-se que o nível de engajamento durante as questões dos vídeos com a justificativa dos colegas era muito superior às questões de caráter individual, variando

de 70% a 40%. A questão de atribuir consequências aos diferentes níveis de culpa causou picos acima de 80%, demonstrando a necessidade de um engajamento intensificado devido à sua importância.

- **Interesse:** Os níveis de interesse se mantinham com baixa variação durante a música, permanecendo equivalentes até metade do vídeo. A partir do momento em que o problema a ser resolvido era relatado, o nível de interesse se mantinha com picos superiores a 10% em comparação aos valores médios durante a música, com variação do sinal a cada mudança de cena. No período do vídeo, os níveis de interesse possuíam alta variação no início de cada questão, com destaque nas questões dissertativas, que apresentavam picos acima de 70%, e na questão referente às consequências, com pico de 85%. Embora os níveis médios variassem menos de 10% entre a música e o questionário, seu comportamento era diferente, demonstrando que a análise do comportamento do sinal em relação ao que ocorre na tela é fundamental para a correta conclusão do seu efeito no instrumento educacional.
- **Atenção:** A atenção durante a música se mantinha com baixa variação em relação às demais etapas do teste. Ao analisar o vídeo, os níveis iniciais eram levemente maiores que os da música, mas, apesar dos picos constantes, o nível médio absoluto caía, chegando a valores próximos a 45%. No final do vídeo, quando o voluntário deveria analisar o problema e tomar decisões, os níveis voltavam a subir. Durante o questionário, a atenção do aluno refletia a compreensão do tipo de questão. Nas questões iniciais com a inclusão de vídeo, havia altos picos de atenção no início de cada questão, mantendo-se acima de 60%. À medida que o aluno compreendia a estrutura das questões, os níveis de atenção caíam para cerca de 50%. Quando as questões referentes a vídeos eram trocadas por dissertativas e de correlação, os níveis de atenção subiam para cerca de 70% e se mantinham altos por mais tempo. A compreensão da estrutura do teste e do tipo de questão aplicada tem efeito direto no nível de atenção do voluntário.
- **Foco:** Os níveis de foco na música e no vídeo, embora levemente mais altos no vídeo, mantinham-se semelhantes, com baixa variação na música e picos na mudança de cenas no vídeo. No entanto, o maior impacto ocorreu no questionário, que apresentava picos constantes acima de 45%, chegando a 55% na mudança de tipo de questão. O maior

pico, acima de 90%, ocorreu quando o voluntário se deparou com as consequências de suas respostas, mantendo-se acima de 80% durante toda a questão. Esse evento não apresentou um alto valor médio devido ao curto tempo da questão em comparação com todo o teste. Assim, o foco está diretamente relacionado às consequências das respostas, não apenas ao ato de respondê-las.

- **Relaxamento:** Os níveis de relaxamento foram, como esperado, levemente mais altos durante a música e mais baixos durante o vídeo e o questionário. Os valores não foram muito expressivos porque o voluntário estava em um processo de avaliação e observação. Apesar da pouca variação nos dados brutos dos sensores durante a equalização, o fato de o participante estar em um teste influenciou os resultados. Antes dos testes da primeira hipótese, foram realizados testes preliminares com diferentes músicas focadas no relaxamento, sem relação com a aprendizagem, apresentando valores inversamente proporcionais aos da tabela 8. Nesse contexto, é importante salientar que o objetivo do teste e o ambiente em que ele é conduzido têm efeito direto nos níveis de relaxamento.

5.2.4 Análise Quantitativa e Qualitativa do Questionário

O questionário tem como objetivo compreender o comportamento do voluntário ao se deparar com avatares com as mais diferentes características físicas e culturais, defendendo os seus pontos de vista em busca de uma solução comum. Os avatares realizam a simulação de aprendizagem baseada em *Design Thinking* em um ambiente online, integrado nativamente ao AVA D2L Brightspace.

Inicialmente, foi realizada a análise quantitativa das respostas dos voluntários para, posteriormente, compreender as características comportamentais destes em um ambiente online de aprendizagem para o desenvolvimento mais efetivo de tecnologias educacionais.

Tabela 9 - Número de ocorrências de cada personagem em seu respectivo nível de culpa na primeira pergunta.
Fonte: elaborado pelo autor.

Nível da culpa/ Número de ocorrência	Maria	Ladrão	Joao	Barqueiro	Amigo	Paulo	Total
Culpado 01	5	5	2	0	0	1	13
Culpado 02	5	2	1	0	0	2	10
Culpado 03	1	1	1	1	1	5	10
Culpado 04	0	2	2	2	1	3	10
Culpado 05	0	1	1	3	5	0	10
Culpado 06	0	0	4	5	4	0	13

Tabela 10 - Porcentagem de ocorrências de cada personagem e seu respectivo nível de culpa na primeira pergunta. Fonte: elaborado pelo autor.

Nível da culpa/ Porcentagem de ocorrência	Maria	Ladrão	Joao	Barqueiro	Amigo	Paulo
Culpado 01	38%	38%	15%	0%	0%	8%
Culpado 02	50%	20%	10%	0%	0%	20%
Culpado 03	10%	10%	10%	10%	10%	50%
Culpado 04	0%	20%	20%	20%	10%	30%
Culpado 05	0%	10%	10%	30%	50%	0%
Culpado 06	0%	0%	31%	38%	31%	0%

Tabela 11 - Número de mudança de opinião em cada questão considerando a resposta da questão anterior.
Fonte: elaborado pelo autor.

Nível da culpa/ Número de ocorrências	Q2 Maria	Q3 João	Q4 Bandido	Q5 Paulo	Q6 Barqueiro	Q7 Amigo
Culpado 01	0	0	0	0	0	0
Culpado 02	0	0	0	1	0	0
Culpado 03	1	0	0	1	0	0
Culpado 04	1	1	1	3	2	0
Culpado 05	1	1	0	1	1	0
Culpado 06	1	1	0	0	1	0
Mudanças por questão	4	3	1	6	4	0
Total de pessoas que mudaram de opinião						3

Tabela 12 - Análise quantitativa do comportamento do voluntário durante o teste. Fonte: elaborado pelo autor.

Mudança de opinião referente ao personagem da pergunta		Questão 8 – Justificativas	
Personagem	Ocorrências	Respondeu	10
Maria	0	Não respondeu	1
João	1	Questão 9 – Consequência	
Bandido	0	Não respondeu	1
Paulo	1	Atribuiu resposta a todos	6
Barqueiro	1	Adicionou <i>n/a</i> em algum campo	4
Amigo	0		
Questões Dissertativas		Questão 10 – Opinião	
Deixou em branco todas as perguntas dissertativas	1	Respondeu	9
		Não respondeu	2

Tabela 13 – Compilação dos principais argumentos das perguntas dissertativas. Fonte: elaborado pelo autor.

Questão 08 – Justificativa	Questão 10 – Opinião
O ladrão é o maior culpado por ter feito a ação. Ninguém poderá causar nenhum dano a nenhuma pessoa a não ser DEUS. Maria é a segunda maior culpada por não ter conversado com seu marido para entender a situação e ter ido buscar consolo em outro lugar. Pode ser que seu Marido estava trabalhando a mais para sustentar a família. Como não existe relato de como estava a situação do casal além dos atrasos, fica complexo de apontar outros detalhes.	Não me senti desconfortável nem ofendido pela história e pelo trabalho. Acredito que existem muitas opiniões na sociedade e que nem sempre as consequências recebidas pelo culpado são as que eles deveriam receber.
O bandido e, com certeza o mais culpado da história, pois é o autor do fato.	Trabalho extremamente bem montado e preparado.
Vejo que Maria ao optar pela traição, trazia consigo toda responsabilidade de seus atos. Corremos o risco das nossas ações e não temos controle do ambiente externo, digo os perigos que nos cercam.	Gostei do caso. Não me considero chateado ou aborrecido com as perguntas que foram trazidas. Apenas julguei conforme achei que devesse.
O assassino é o culpado pois ele decidiu tirar a vida dela. Maria é a segunda maior culpada pois sabia do perigo e por medo do marido assumiu o risco. Os outros são culpados em menor grau porque não a impediram de ir a ponte com o risco eminente.	Não me senti ofendida, só não gostei de atribuir a culpa em quem não tem culpa nenhuma.

<p>Não aceito o argumento que o maior culpado seja o amigo ou o barqueiro, uma vez que os dois não provocaram nada do que aconteceu.</p> <p>Na minha opinião o AMANTE foi definitivamente um covarde, e se eximiu por completo, quando não quiz ajudá-la. Em um relacionamento, sempre há e/ou haverá problemas, por isso a necessidade de conversas e acertos, para que coisas deste tipo não aconteçam. De qualquer forma, quem é o maior culpado é o LADRÃO. Impossível na minha esfera de valores pensar diferente disso.</p>	<p>Coloquei na página anterior as penas com a devida enumeração fornecida, mas perante a justiça e para mim, o grande culpado é o LADRÃO. Os demais por mais que não ajudaram ou atrapalharam, não poderão ser responsabilizados.</p>
<p>Acredito que o primeiro responsável /culpado pela morte de Maria seja o João, o marido, pois ele é a causa raiz. Se ele tivesse mantido sua rotina normal do casamento sempre chegando no mesmo horário nada disso teria acontecido. A Ação de João causou as demais reações.</p>	<p>Não me senti desconfortável nem ofendida em nenhum momento, essa história infelizmente e algo que acontece em nossa sociedade com bastante recorrência. A traição da mulher em resposta a traição e ao descaso do marido no casamento.</p>
<p>Maria foi a maior culpada porque ela sabia que seria morta se atravessasse a ponte. Ela optou por atravessar para não ter que enfrentar as consequências caso sua traição fosse exposta. Em segundo lugar a culpa foi do amante, que não estava interessado em se comprometer nos problemas da Maria. Terceiro lugar o amigo, que poderia ter tentado fazer mais alguma coisa para ajudar ou evitar que a Maria atravessasse a ponte. Quarto o barqueiro, que preferiu o dinheiro. Quinto o bandido, porque foi ele quem a matou Maria. Na minha opinião o marido não tem culpa.</p>	<p>Interessante que só quando a consequência foi extrema eu pensei em mudar de opinião. Mas na verdade ainda acho que a Maria é a principal culpada e que o marido não tem culpa.</p>
<p>Na minha opinião o maior culpado foi o marido pois deveria explicar a sua ausência e acolher a sua esposa, mas a deixava sozinha. Segundo ela mesma, a Maria, fora fraca e achou que procurando um amante seria feliz. Após o ladrão que estava à espreita violando as leis de sobrevivência de todo mundo, amedrontava as pessoas em locais de passagem. Logo após foi o dono do barco que poderia sim ajudar esta moça que estava sofrendo de medo e por último o amigo que apesar de não ter condições, tentou ajudá-la apresentado um caminho junto ao barqueiro.</p>	<p>Achei a história muito semelhante a vida real, onde sempre colocamos a pena máxima em pessoas que deveriam ter a mesma pena que as pessoas que causam de fato as consequências. Devemos sempre nos colocar no lugar do próximo e tentar entender e ajudar, sempre com diálogo. O princípio da história nos leva a caminhos onde pessoas simplesmente deixaram os fatos ocorrerem, sem ao menos pensar no outro, no sofrimento alheio.</p>
<p>A Maria é a maior culpada pois se tivesse se separado de seu marido ou colocado sua insatisfação poderia ter evitado primariamente o evento. o Ladrão também tem culpa, mas dentro de uma sociedade onde o crime é considerado um distúrbio ou parte de insanidade este não evitaria o mesmo. Logo, apenas uma pessoa tinha o poder da decisão de ferir menos pessoas ou até mesmo nenhuma nesta relação, a Maria.</p>	<p>Sem sentimentos relacionados a ofensa ou qualquer outro do tipo.</p>
<p>Na minha opinião Maria e o ladrão são responsáveis pelos seus atos. O amante entra apenas como responsável moral.</p>	<p>n/a</p>

Durante a análise dos dados referentes às perguntas, bem como do comportamento dos voluntários durante o teste, podemos destacar os seguintes pontos:

- Apesar de em diversos momentos ser relatado que a resposta final seria uma resposta em grupo, a maioria dos participantes ignorou esse fato, absorvendo as informações que consideravam relevantes e trazendo para si a responsabilidade da resposta, pois se viam como a pessoa avaliada. Os participantes demonstraram centralizar a aprendizagem de forma a adaptá-la à sua realidade, mas, apesar dessa centralização, mostraram-se colaborativos ao compartilhar suas opiniões com os demais membros do grupo;
- A maioria dos participantes, mais de 90%, não dava a devida atenção aos argumentos dos avatares antes de iniciar sua resposta, muitas vezes ouvindo apenas a frase inicial que relatava a opinião do avatar. Nesse caso, seria recomendado inverter a afirmação para o final da justificativa, para prender a atenção do voluntário por mais tempo;
- A maioria dos participantes, superior a 90%, justificou suas respostas, mas não ouviu com a devida atenção a opinião dos demais membros do grupo;
- As justificativas estavam majoritariamente ligadas a questões pessoais ou morais, vinculadas a vivências pessoais ou crenças religiosas, e não a questões legais;
- Nenhum dos participantes se sentiu ofendido pela história em si, pelo uso de avatares ou por justificativas contrárias ao seu argumento. Cabe salientar que a mesma atividade, quando realizada presencialmente, muitas vezes causa desconforto e discussões mais enfáticas, podendo gerar situações inadequadas para um ambiente de grupo. Apesar desse fato, as respostas corresponderam às mesmas da atividade presencial;
- Ao final, o voluntário deveria atribuir consequências impostas a diferentes níveis de culpa, e, mesmo sendo enfático em suas justificativas, muitas vezes preferia não se manifestar ou não atribuir culpa a algum personagem específico. Devemos salientar que a resposta do participante não era decisiva, mas uma resposta em grupo, e ele não podia ser responsabilizado diretamente por sua resposta ou pela penalidade atribuída a algum nível de culpa;
- Quando o participante tentava mudar de questão e ocasionalmente não havia respondido algum item da pergunta, o AVA mostrava um aviso na tela, mesmo não sendo uma

questão obrigatória, e o voluntário voltava à questão e a analisava novamente para respondê-la.

O teste causou interesse nos participantes e, majoritariamente, após a sua finalização, buscavam discutir sobre o teste em busca de compartilhar a sua opinião, e por muitas vezes, contradizendo a resposta de um ou mais avatares, seja com uma simples discordância a ironias verbais, tais como: “é um absurdo”, “não concordo”, “não tem como aceitar isso”, “religião não é relevante”. Durante esse período, o observador jamais argumentava as opiniões dos participantes, somente as escutava e informava que não havia resposta correta no respectivo teste e que todas as respostas não eram identificadas. Muitos dos testes foram realizados por casais e, após sua finalização, eles decidiram discutir o tema entre si e ficaram surpresos com a opinião do seu parceiro. Demais observações estão descritas nas observações qualitativas gerais desta tese.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Resultado Geral do Primeiro Teste de Hipótese

A partir dos estudos realizados em pesquisas bibliográficas que envolvem o uso de EEG (eletroencefalograma) na educação, foi observado que não houve quaisquer preocupações com a qualidade do equipamento utilizado ou se os dados apresentados em experimentos refletiam de forma direta a resposta neural do indivíduo. Isso se deu por não haver procedimentos antecedentes ao teste proposto.

A partir dos testes previamente realizados, é possível afirmar que o processo de calibração das ondas cerebrais é de suma importância antes da realização de quaisquer testes com o EEG, pois os estados emocionais e físicos do indivíduo são refletidos diretamente no experimento, por menores que sejam. Caso não seja realizada a respectiva equalização, não haverá como informar se o teste a ser realizado com o uso do EEG terá informações fidedignas ao experimento proposto, principalmente nos minutos iniciais. Devemos salientar que não há garantia de que todos os indivíduos que deverão passar por quaisquer testes de eletroencefalograma deverão ter seus dados analisados, pois se algum sujeito não conseguir chegar nos estados de homogeneização cerebral propostos ou gerar artefatos no sinal oriundos por movimentos involuntários e repetitivos, provavelmente os dados adquiridos na observação do respectivo teste não fornecerão informações fidedignas à pesquisa. Por meio dos resultados, é possível supor que o sucesso de todos os testes de equalização propostos se deve aos pré-requisitos e cuidados relacionados aos indivíduos que antecederam ao teste, porém, essa premissa poderá variar de acordo com o cenário desejado.

Logo, a partir desse estudo, é possível afirmar que a hipótese da necessidade de calibração anterior dos estados neurais do indivíduo é verdadeira e de suma importância para a correta análise de dados para qualquer pesquisa que faça uso do EEG, independentemente do equipamento utilizado. A partir desse teste, é possível afirmar que a aplicação de uma metodologia de calibração ou estado de homogeneização neural, que anteceda a pesquisa com o uso do EEG, proporcionará dados mais fidedignos ao experimento; caso contrário, poderão dificultar ou até impossibilitar a análise quantitativa de um determinado experimento.

6.2 Resultado Geral do Segundo Teste de Hipótese

A partir dos testes realizados na segunda hipótese, diversas conclusões referentes a boas práticas, bem como o comportamento do voluntário, foram possíveis. Nos testes realizados referentes ao modelo matemático a fim de compreender as áreas do cérebro em que ocorriam maior predominância em um determinado momento do teste, foi possível observar que havia moderada ativação com alta correlação em todas as etapas do teste de hipótese, despertando surpresa e sucesso nesse requisito. Inicialmente, esperava-se que houvesse, em algum momento do teste, uma área do cérebro com alta ativação, porém com baixa correlação, o que poderia representar áreas de melhoria no instrumento educacional ou no fluxo de aprendizagem proposto. Acredita-se que o design instrucional, a harmonia dos elementos utilizados e a integração das ferramentas educacionais no LMS Brightspace, sem a necessidade de acessar ferramentas externas a partir de diferentes abas do navegador, fez com que obtivéssemos esse resultado. Felizmente, durante todo o teste houve uma ativação moderada em todos os lobos de forma constante, com alto grau de correlação, em que todas as etapas se mostraram satisfatórias. Devemos salientar que, durante o teste, os movimentos involuntários motores, sejam eles ocasionados por repetitivos movimentos com as mãos ou piscadas, eram atenuados e se mostravam com baixa propagação entre os lobos. O modelo matemático proposto mostrou-se eficaz por atenuar movimentos involuntários e demonstrar, de forma quantitativa, os níveis de correlação entre os lobos, trazendo à luz dos fatos dados mais fidedignos aos momentos do teste em comparação a artigos que não realizam essa análise. Se levarmos em consideração movimentos involuntários, como piscadas, teríamos alta intensidade em áreas específicas do cérebro com baixa propagação, conseqüentemente um aumento da média de ativação neural, ocasionando um falso positivo nos testes, o que não foi o caso. Concluindo, o modelo matemático se torna fundamental como complemento de análise dos demais dados gerados no teste de hipótese proposto e não deverá ser utilizado de forma unilateral, apenas complementar, a fim de reduzir falsos positivos e compreender o comportamento e o nível de correlação das áreas do cérebro.

Na etapa referente à animação, o comportamento do voluntário foi de acordo com o previsto, em que o olhar do participante se mantinha na animação. O que chamou a atenção durante essa etapa era que o voluntário tinha como foco o movimento do personagem, com um olhar rápido aos demais personagens da tela, esperando uma resposta ao movimento do outro personagem. Porém, é importante ater-se ao fato de que esse movimento não era superior a 1 segundo. Durante o teste, foi possível observar que o interesse na história se degradava com o

tempo, mas nas mudanças de cena, bem como nos movimentos dos personagens ocasionava picos de interesse. No momento em que era relatado o papel do voluntário na história, todos os níveis de ativação neural aumentavam consideravelmente e se mantinham altos, conforme esperado.

Na etapa do questionário, ocorreram algumas surpresas referentes ao comportamento do voluntário. A não mudança do tipo e da estrutura da questão, adicionada ao fato de a primeira frase do avatar ser uma afirmação seguida à sua respectiva justificativa, ocasionava um menor interesse do voluntário, reduzindo a sua importância e iniciando a sua resposta. Apesar deste fato, o participante justificava a sua resposta de forma incisiva, trazendo à tona valores morais e situações do cotidiano, realizando uma conexão entre a fala do avatar e sua experiência pessoal, fazendo com que a resolução do problema proposto a partir do *Design Thinking* tivesse o seu objetivo alcançado. A questão 9, relacionada às consequências a partir da resposta do voluntário, causou efeitos nos sinais neurais extremamente significativos, não limitado aos mesmos, mas os relacionados aos dados referentes às variáveis analisadas pelo EEG, como picos de 80% a 90% no foco do participante, conforme relatado nas conclusões do respectivo capítulo desta tese. Os dados pré-processados pelo EEG requerem atenção por gerarem somente um ponto do gráfico a cada 10 segundos, mostrando que a sua média em si não é extremamente relevante, mas sim o seu comportamento. Durante a análise dos níveis de estresse, engajamento, interesse, atenção, foco e relaxamento, providos pelo EEG, foi realizada a sincronização dos dados em tempo real, com os 14 canais do EEG, bem como a gravação da tela do usuário. Essa sincronização e análise propiciaram as conclusões desta tese, recomendando-se, em testes de curta duração, a não realização da análise individual de seus valores, mas sim a de seu comportamento e da sua devida comparação, entre outras variáveis inerentes ao teste, de forma qualitativa e quantitativa.

Na última questão do questionário, acerca da opinião dos voluntários sobre o teste e do seu sentimento sobre o uso de avatares, não ocorreram quaisquer negativas. Após algumas semanas, em encontros ocasionais ou ligações, os participantes traziam o tema à tona a fim de compreender os resultados dos testes, reafirmando ou refletindo sobre suas posições e até mesmo comparando-as com os avatares e com amigos que compartilharam a sua experiência no respectivo teste. As pessoas que obtiveram informações sobre o teste a partir de terceiros, entraram em contato com o pesquisador, demonstrando interesse em realizar o respectivo teste. Estes foram informados que, devido ao prévio conhecimento do teste e da discussão sobre o tema, poder-se-ia ocasionar alterações nos dados analisados. Essa ação demonstra que o conceito de *Design Thinking* criou uma memória de longo prazo e de impacto significativo em suas

vidas, fazendo-os pensar nas possibilidades e nos diferentes pontos de vista, seja a partir de suas experiências pessoais, da opinião de terceiros e/ou dos avatares.

O segundo teste de hipótese a partir da metodologia proposta integra o conceito de *Design Thinking* de forma assíncrona, a utilização de avatares gerados por Inteligência Artificial e a integração nativa de diversos ferramentais educacionais em um AVA, evitando possíveis distrações em seu processo, mostrando-se eficaz. Os resultados gerados nos testes mostraram resposta equivalente ao realizado presencialmente, trazendo à tona a mesma relação pessoal ao problema proposto, porém sem o aspecto de desconforto que ocasionava em sala de aula, relatado pelos professores que a realizavam. Não equidistante, os dados gerados e a sua forma de análise a partir do EEG e o rastreamento ocular demonstraram, de forma ampla e satisfatória, a sua relação de precisão acerca dos instrumentos educacionais utilizados e devidamente integrados ao AVA. A metodologia proposta, bem como a sua respectiva análise de dados, traz à tona problemas relacionados ao uso de equipamentos de EEG na educação, trazendo à comunidade acadêmica a padronização e a informação de como proceder com o uso de tais tecnologias, indo além da evolução tecnológica, por se basear na análise do comportamento humano. Espera-se que, a partir deste trabalho, seja possível nortear futuras pesquisas, possibilitar a comparação de diferentes testes com o uso do EEG e aumentar a acurácia de dados, demonstrando a sua interconexão de variáveis provenientes de equipamentos de EEG e o comportamento humano.

7 CONCLUSÃO

O desenvolvimento e a conclusão desta tese baseiam-se em duas hipóteses que contemplam a necessidade de criação de um procedimento padrão (protocolo) que antecede o uso de EEG e rastreamento ocular para a análise de instrumentos educacionais, bem como a utilização de *Design Thinking* em ambiente LMS de forma assíncrona. A pesquisa bibliográfica que a precedeu demonstrou o desconhecimento dos pesquisadores que utilizam EEG na área da educação quanto à necessidade de calibração dos equipamentos e à homogeneização das ondas neurais antes de quaisquer experimentos, o que aumenta a incerteza dos resultados. Essa lacuna bibliográfica pode ser justificada pela transdisciplinaridade que a permeia.

A falta de padronização e/ou metodologia no uso de EEG para a análise e comparação de diferentes instrumentos educacionais tornou-se o primeiro desafio desta tese, havendo a necessidade de seu desenvolvimento a partir do primeiro teste de hipótese e seus respectivos objetivos:

- Aplicar padrões de estabilização neural:
A pesquisa não apenas demonstrou a necessidade de homogeneização das atividades neurais que antecedem o teste de instrumentos educacionais, mas também propôs um protocolo de utilização, inexistente na literatura prévia.
- Realizar a análise dos equipamentos de EEG disponíveis no mercado:
A pesquisa realizou uma análise técnica dos diferentes tipos de equipamentos de EEG comercialmente disponíveis, com suas respectivas limitações, demonstrando qual equipamento pode ser utilizado para cada tipo de pesquisa na análise de instrumentos educacionais.
- Realizar a análise das dificuldades inerentes à utilização dos dispositivos de EEG disponíveis no mercado:
A pesquisa evidenciou as dificuldades e cuidados na utilização do EEG, com os respectivos procedimentos que antecedem os testes propostos, contemplando a inclusão no protocolo desenvolvido pelo autor e recentemente publicado em congresso internacional.

- Quantificar os sinais cerebrais estatisticamente:

A análise dos dados foi possível apenas a partir do desenvolvimento de um software para análise de dados provenientes do EEG, devido à grande quantidade de informações disponíveis em cada teste. Complementarmente, foi proposta a utilização de modelos matemáticos para a redução de ruídos não inerentes à pesquisa e reutilizados no segundo teste de hipótese desta tese.

Ao final do primeiro teste de hipótese, contemplando todos os objetivos listados anteriormente, foi possível desenvolver um protocolo de utilização de EEG para a análise de instrumentos educacionais, possibilitando não somente a sua padronização, mas a comparação de diferentes ferramentas educacionais, com base em protocolo unificado e publicado em congresso internacional (PRESTES, 2023). Esse protocolo foi utilizado antes de sua publicação em pesquisas no Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação (PPGIE) e na pesquisa realizada por Karen Cardoso no respectivo programa de doutorado.

A partir do primeiro teste de hipótese devidamente finalizado e publicado, a segunda hipótese buscou desenvolver um processo de análise metodológica para a quantificação de dados provenientes do eletroencefalografia (EEG) aplicado a instrumento educacional de aprendizagem, baseado em *Design Thinking*, devidamente integrado ao LMS D2L Brightspace de forma assíncrona. Apesar de o *Design Thinking* ser uma realidade na educação, pouco se destaca na literatura quando nos referimos à sua aplicabilidade multidisciplinar em um LMS de forma assíncrona, pois por se basear na troca de informações e experiências entre pessoas, a sua integração a uma metodologia de ensino online assíncrona, baseada em UX, não era uma realidade até o presente momento.

Para o desenvolvimento do segundo teste de hipótese os seguintes objetivos foram propostos:

- Segmentar o cérebro em áreas de interesse:

Foi realizado o estudo das diferentes áreas do cérebro e suas funcionalidades conhecidas pela medicina, a fim de compreender o comportamento do sinal do EEG e sua correlação de ativação com base no equipamento utilizado. Essa correlação propiciou o início do processo de desenvolvimento do modelo matemático e a relação entre os sensores do EEG.

- Quantificar os sinais cerebrais estatisticamente:

Os sinais do EEG foram quantificados a partir do desenvolvimento de um *software* de análise de dados pelo autor, permitindo a configuração pelo usuário, mesmo sem conhecimento técnico na área, e possibilitando a escalabilidade, já que ferramentas tradicionais como o Excel não têm capacidade para realizar essa análise. Nesta etapa, foi desenvolvido o modelo matemático utilizado nesta tese, que propõe formas matemáticas de atenuar sinais não inerentes à pesquisa, como piscadas e correlação entre lobos cerebrais.

- Relacionar a ativação do cérebro com os dados pré-processados pelo EMOTIV:

O relacionamento da ativação do cérebro não foi limitado apenas ao modelo matemático proposto, mas incluiu a sincronização dos dados fornecidos pelo equipamento de EEG (estresse, engajamento, interesse, atenção, foco e relaxamento) com o comportamento do usuário em cada etapa do teste, incluindo o rastreamento ocular. Este objetivo foi alcançado a partir da análise comportamental do indivíduo de acordo com cada fase do teste (áudio/vídeo/questionário), destacando os elementos mais relevantes a partir da análise dos dados.

- Avaliar os resultados obtidos após a aplicação do método proposto:

A avaliação dos resultados demonstrou a eficiência do método proposto, que incluiu a relação de intensidade de ativação por lobo (incluindo a relação de intensidade e inferência a lobos vizinhos), evidenciando de forma eficaz que a integração de todas as ferramentas ao LMS causou coesão entre as ativações neurais individuais e relacionais, devidamente reafirmadas pelo rastreamento ocular.

- Avaliar o uso de vídeo educacional baseado em Design Thinking (desenvolvido pelo autor) e Inteligência Artificial integrados nativamente em um LMS:

A avaliação do uso de animações para exemplificar o problema proposto foi satisfatória, com base na análise do EEG, dados pré-processados pelo Emotiv e rastreamento ocular. A integração de avatares gerados por IA, baseados em opiniões de pessoas que realizaram o curso em formato presencial, não causou

desconforto ao usuário, diferentemente do realizado presencialmente sem o uso dessas tecnologias, gerando resultados no questionário equivalentes ao presencial. Assim, tanto a metodologia quanto as ferramentas utilizadas no LMS demonstraram que sua aplicação online assíncrona foi não apenas satisfatória, mas superior ao presencial no teste proposto.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, salienta-se que as dificuldades inerentes às características transdisciplinares que a constituem são pouco abordadas em pesquisas bibliográficas, tão pouco presentes em sua totalidade, como representadas nesta tese. Para elucidar algumas das tecnologias utilizadas, podemos destacar as seguintes áreas do conhecimento: *saúde*, a partir do estudo do cérebro; *matemática*, no que tange a análise estatística e o modelo matemático; *engenharia*, na análise dos sinais do cérebro e tecnologias correlacionadas; *comportamento humano* e *Inteligência Artificial*, no mapeamento dos avatares; *design*, no desenvolvimento das animação; *educação* e suas respectivas ferramentas educacionais integradas a metodologias de ensino e; *computação e BigData*, no desenvolvimento de ferramentas educacionais e do *software* para a análise de dados. Todas essas tecnologias foram integradas a partir da premissa de proporcionar uma *UX* única, transparente ao usuário e integrada ao LMS, tendo como base o *Design Thinking*.

Pode-se concluir que, em virtude das diversas características multidisciplinares/interdisciplinares/transdisciplinares que transpassam a pesquisa, bem como a metodologia proposta ter como premissa a sua fácil adaptabilidade não somente a tecnologias atuais, mas futuras, tornando-a atemporal, é possível destacar que o seu alto grau de complexidade inerente ao seu desenvolvimento, carecendo de fundamentação teórica sólida na literatura, buscou, com sucesso, fornecer conhecimento à comunidade acadêmica, cumprindo o seu papel de ultrapassar a barreira do conhecimento atual, abrindo espaço para futuras pesquisas.

8 RECOMENDAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

A partir dos testes realizados nesta tese, bem como as suas respectivas conclusões, algumas recomendações e trabalhos futuros são sugeridos:

- Utilizar diferentes músicas para equalização.
- Comparar a resposta neural do voluntário entre um vídeo narrado e um vídeo com diálogos a partir dos personagens.
- No vídeo, empregar um tom de voz individual que represente o sentimento dos personagens e comparar o resultado neural entre os participantes.
- No questionário, incorporar novas tecnologias de IA aplicadas aos avatares, como expressões faciais, conforme a evolução tecnológica.
- Realizar mudanças constantes no tipo de questões do questionário para reduzir a compreensão estrutural da prova e estudar seu efeito sobre o voluntário.
- Conduzir um maior número de testes com diferentes objetivos de pesquisa para aprimorar a escala da tabela de análise relacional do lobo.
- Analisar personas em relação a diferentes perfis de aprendizagem para comparar o comportamento neural dos voluntários e identificar tecnologias educacionais adequadas para diferentes públicos, criando uma metodologia adaptativa durante o processo de aprendizagem, com possibilidade de implantação no AVA D2L Brightspace.

REFERÊNCIAS

- ADAMOS, Dimitros; DIMITRIADIS, Stavros; LASKARIS, Nikolaos. **Toward the bio-personalization of music recommendation systems: a single-sensor EEG biomarker of subjective music preference**. ELSEVIER, 2016.
- BADCOCK, Nicholas. et al. **Validation of the Emotiv EPOC EEG System for research quality auditory event-related potentials in children**. PeerJ, 2015. Disponível em: <https://peerj.com/articles/907/>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- BECKER, Kira. *et al.* **A four-part working bibliography of neuroethics: Part 4 – Ethical issues in clinical and social applications of neuroscience**. Philosophy, Ethics, and Humanities in Medicine. SpringerLinl, 2017.
- BORJA, Ana; PONDE, Milena. P300: avaliação do potencial evocado cognitivo em crianças com e sem TDAH. Revista Ciência Médica Biológica. Salvador, v. 8, mai/ago, 2009, p. 198-205.
- BUCHANAN, Richard. Wicked problems is design thinking. **Design Issues**, Spring, n. 2, 1992.
- BROWN, Tim. **Design Thinking; uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias**. Tim Brown. Tradução Cristina Yamagami - Edição Comemorativa – Rio de Janeiro: Alta Books, 2020.
- BROWN Tim. **Design Thinking: uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias**. Tradução Cristina Yamagami, Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- CERNEA, Daniel; KERREN, Andreas; EBERT, Achim. **Detecting insight and emotion in visualization applications with a commercial EEG headset**. Proceedings of SIGRAD 2011. Linköping University Electronic Press. Sweden, 2011, p. 53-60.
- CHIARAMONTE, Marilda Spindola. **Habilidade Cognitiva Espacial: uma medida com eletroencefalografia**. Orientador: Milton Antônio Zaro. Coorientador: Maria Isabel Timm. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, CINTED/UFRGS, 2010, Porto Alegre, BR-RS.
- COSTANZO, Linda. **Fisiologia**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- DUNNE, David; MARTIN, Roger. **Design Thinking and How It Will Change Management Education: An Interview and Discussion**. Academy of Management Learning e Education, Toronto, v. 5, n. 4, 2006
- EATON, Joel; WILLIAMS, Ducan; MIRANDA, Eduardo Reck. Affective Jukebox: A Confirmatory Study of EEG Emotional Correlates in Response to Musical Stimuli. Conference ICMC/SMC. Greece, 2014.
- EDUCADIGITAL, Instituto. **Design Thinking para Educadores**. Versão em português: Instituto Educadigital, 2013. Disponível em: <http://issuu.com/dtparaeducadores>. Acesso em: 25 out. 2020.

EHRlich, Stefan. *et al.* **Uma interface cérebro-computador baseada em música de circuito fechado para mediação de emoções.** Plosone. 2019.

ERGONEERS. **Eye Tracking.** Disponível em <https://www.ergoneers.com/en/>. Acesso em: 26 novembro de 2020.

FONSECA, Vitor da. **Cognição, neuropsicologia e aprendizagem:** abordagem neuropsicológica e psicopedagógica. 5. ed. Petrópolis: Vozes, 2011.

GONZALEZ, Rafael; WOODS, Richard. **Processamento de Imagens Digitais.** Brasil: Pearson Education do Brasil, 2010.

HARRISON, Tegan. **The Emotiv mind:** investigating the accuracy of the Emotiv EPOC in identifying emotions and its use in an intelligent tutoring system. Honours Report. Department of Computer Science and Software Engineering. University of Canterbury, New Zealand, 2013.

KAHLE, Werner; FROTSCHER, Michael. **Color Atlas and Textbook of Human Anatomy: Nervous System and Sensory Organs.** v. 3. New York, United States: Thieme, 2003.

KHUSHABA, Rami. *et al.* **Consumer neuroscience:** Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking. ELSEVIER journal. Expert Systems with Applications 40, 2013, p. 3803–3812.

KUBER, Ravi; WRIGHT, Franklin P. **Augmenting the instant messaging experience through the use of brain-computer interface and gestural technologies.** *International Journal of Human-computer Interaction.* 2013, p. 178-191. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10447318.2012.702635>. Acesso em: 10 jul. 2018.

LENT, Roberto. **Cem bilhões de neurônios conceitos fundamentais de neurociências.** 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2010.

LOPES, A. L. S, Hargah, C. C, Santos, R. M. (1016, September). **Design Thinking na Formação de Professores como Estratégia Pedagógica de Imersão.** 7º Simpósio Internacional de Educação e Comunicação. Visualizado em 24 de novembro de 2020. file:///C:/Users/paula/Downloads/3305-11714-1-SM%20(1).pdf

MOESLUND, Tomas B. **Introduction to Video And Image Processing.** Springer, 2012.

NUNES, Walter Cezar. **Empreendedorismo por Oportunidade: Objeto de Aprendizagem com Proposta Metodológica, Desenvolvida a Luz da Neurociência, para Melhorar a Performance na Capacidade de Identificar Oportunidades de Negócios .** Orientador: Milton Antônio Zaro. Coorientador: Leia da Cruz Fagundes. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, CINTED/UFRGS, 2016.

PAIVA, Emy Dórea; ZANCHETTA, Margareth Santos; LONDOÑO, Camila. **Inovando no pensar e no agir científico: o método de Design Thinking para a enfermagem.** Experience Report, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ean/v24n4/1414-8145-ean-24-4-e20190304.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.

PEREIRA, I., Guimarães, A. J., Nascimento, J. S., Neto, S. C., & De Souza, R. C. (2019, July). **Aplicação do design thinking para educadores no desenvolvimento de uma solução inovadora**. Brazilian Journal of Development. Visualizado em 24 de novembro de 2020. <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/2118>

PERFORMANCE metrics. EmotivPRO V1.3+ Only. EMOTIVPRO. Disponível em: https://emotiv.gitbook.io/emotivpro/data_streams/performance-metrics. Acesso em: 15 nov. 2019.

PRESTES, L.P.; **Instrumento Portátil para Aquisição, Digitalização e Processamento de Imagens a Ser Aplicado na Avaliação do Sistema de Equilíbrio Humano**. Porto Alegre: PUCRS, 2013. Tese (Mestrado em Engenharia), Faculdade de Engenharia, Engenharia Biomédica. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2013.

PRESTES, L.P., Zaro, M.A., da Silva, P.F., de Aguiar, F.R., Halmenschlager, G. (2023). **Mental State Equalization for Neuroeducation: Methodology and Protocol for Applying Electroencephalogram in Educational Instruments**. In: Mesquita, A., Abreu, A., Carvalho, J.V., de Mello, C.H.P. (eds) Perspectives and Trends in Education and Technology Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 320. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6585-2_8.

PRESTES, Lucas Plautz. A História da Ponte. **Youtube**, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6Xg5obQ2Et0>. Acesso em: 20 mar. 2024.

PRESTES, Lucas Plautz. A Maria. **Youtube**, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=43O6i5QBjTE>. Acesso em: 20 mar. 2024.

PRESTES, Lucas Plautz. O Amigo. **Youtube**, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LaZNSmdPTE8>. Acesso em: 20 mar. 2024.

PRESTES, Lucas Plautz. O Bandido. **Youtube**, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=SsIODIzFSZ8>. Acesso em: 20 mar. 2024.

PRESTES, Lucas Plautz. O Barqueiro. **Youtube**, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Aw3IzARszQA>. Acesso em: 20 mar. 2024.

PRESTES, Lucas Plautz. O João. **Youtube**, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=29hZkFvjcHo>. Acesso em: 20 mar. 2024.

PRESTES, Lucas Plautz. O Paulo. **Youtube**, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=g5SYFVJYphY>. Acesso em: 20 mar. 2024.

PRESTES, Lucas Plautz. Teste do Doutorado - Lucas P.Prestes Completo. **Youtube**, 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FingAe3gxCw>. Acesso em: 20 abril. 2024.

PROGRAMA Internacional de Avaliação de Estudantes (Pisa). **Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio**. Ministério da Educação. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/pisa>. Acesso em 10 jul. 2018.

RELVAS, Martha Pires. **Neurociências e transtorno de aprendizagem**: as múltiplas eficiências para uma educação inclusiva. 4. ed. Rio de Janeiro: Wak Ed, 2010.

ROTTA, Newra Tellecchea; BRIDI FILHO, César Augusto; BRIDI, Fabiane de Souza. **Neurologia e aprendizagem**: Uma abordagem multidisciplinar. Porto Alegre: Artmed, 2016.

SANTOS, Bárbara Ferreira; RIBEIRO, Marcelo. **Brasil está entre os piores em ranking mundial de educação**. Exame, 06/12/2016. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/brasil/brasil-esta-entre-os-8-piores-em-ciencias-em-ranking-de-educacao/>. Acesso em: 10 jul. 2018.

SCHLINDWEIN-ZANINI, Rachel; SCHLEMPER JUNIOR, Bruno. **Neuroethics and neuroscience. Contextos Clínic**. São Leopoldo. v. 6, n. 1, p. 58-61, jun. 2013. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-34822013000100008&lng=pt&nrm=isso. Acesso em: 16 nov. 2019.

SPINDOLA, Marilda Machado et al . A study of brain reaction to spatial stimuli in students with different background knowledge. **Ciênc. cogn.**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 3, p. 23-32, dez. 2010. Disponível em http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-58212010000300004&lng=pt&nrm=iso. Acesso em 01 dez. 2020.

TOBII. **Eye Tracking**. Disponível em <https://tech.tobii.com/>. Acesso em: 26 novembro de 2020.

TSAI, C. et al. **Positioning Design Epistemology and its Applications in Education Technology**. Educational Technology & Society, v. 16, 2013. Disponível em: <https://www.j-ets.net/>. Acesso em: 10 nov. 2020.

VERKIJKA, Silas Formunyuy; DE WET, Lizette. **Using a brain-computer interface (BCI) in reducing math anxiety: evidence from South Africa**. Comput Educ. 2015, p. 113–122.

VETTORI, Marcelo; **O Socrative APP como Ferramenta para Potencializar a Atenção no Desenvolvimento de Aprendizagens Significativas**: um Estudo de Caso com Estudantes de Engenharia em uma Disciplina de Física. Trabalho de Conclusão de curso (Doutorado em Informática na Educação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/187631/001083277.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 nov. 2019.

WANG, Qiang; SOURINA, Olga. **Real-time mental arithmetic task recognition from EEG signals**. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2013, p. 225-232.

WANG, Shouyi; GWIZDKA, Jacek; CHAOVALITWONGSE, Wanpracha Art. **Using Wireless EEG Signals to Assess Memory Workload in the n-Back Task**. IEEE Transactions on Humam-Machine Systems. v. 46, n. 3, 2016.

ZARO, Milton Antonio et al. Emergência da Neuroeducação: a hora e a vez da neurociência para agregar valor à pesquisa educacional. **Ciênc. cogn.**, Rio de Janeiro , v. 15, n. 1, p. 199-210, Apr. 2010. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S180658212010000100016&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 01 dez. 2020.