



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARIA CLARA DE OLIVEIRA GÊ

**ESTUDO DO ESFORÇO COGNITIVO NA COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO
FITRADEOFF E O PROCEDIMENTO TRADEOFF**

Recife

2022

MARIA CLARA DE OLIVEIRA GÊ

**ESTUDO DO ESFORÇO COGNITIVO NA COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO
FITRADEOFF E O PROCEDIMENTO TRADEOFF**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Lucia Reis Peixoto Roselli.

Coorientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.

Recife

2022

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

G292e Gê, Maria Clara de Oliveira.
Estudo do esforço cognitivo na comparação entre o método FITradeoff e o procedimento tradeoff / Maria Clara de Oliveira Gê. 2022.
130 f: il.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Lucia Reis Peixoto Roselli.

Coorientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Recife, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de produção. 2. Neurociência em decisão. 3. Aspectos comportamentais em decisão. 4. Método FITradeoff. 5. Procedimento tradeoff. 6. Elicitação de preferências. 7. Desenho do SAD. I. Roselli, Lucia Reis Peixoto (Orientadora). II. Almeida, Adiel Teixeira de (Coorientador). III. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG / 2023 - 25

MARIA CLARA DE OLIVEIRA GÊ

**ESTUDO DO ESFORÇO COGNITIVO NA COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO
FITRADEOFF E O PROCEDIMENTO TRADEOFF**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Aprovada em 17/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Lucia Reis Peixoto Roselli (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Eduarda Asfora Frej (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Mariana Rodrigues de Almeida (Examinadora Externa)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que nunca me desamparou, me mantendo firme, forte e com saúde para a realização dos meus objetivos.

Agradeço aos meus pais, por toda liberdade e confiança que sempre tive para fazer escolhas, tomar decisões e por todos os ensinamentos. A vocês e à minhas irmãs, agradeço por todo incentivo, apoio, compreensão e ajuda. Aos meus sobrinhos, que nasceram em meio a esse processo, agradeço por seus lindos sorrisos que encantam minha vida.

Agradeço a todos os meus amigos pelo companheirismo, pela participação na construção e na realização dos meus sonhos. Aqui cabe um profundo agradecimento aos meus amigos e amigas de apartamentos/vivências em Recife, que se tornaram uma segunda família. O caminho teria sido muito mais difícil sem vocês.

Agradeço também à minha orientadora, professora Dra. Lucia Reis Peixoto Roselli por suas inúmeras contribuições para a minha dissertação e por todo suporte, incentivo, atenção e orientação concedida ao longo desta pesquisa. Nesse sentido, também agradeço ao meu co-orientador, o professor Dr. Adiel Teixeira de Almeida, por todo apoio, incentivo, respeito e orientação.

Agradeço aos professores que conheci durante a trajetória do mestrado, pelo empenho e qualidade em suas contribuições. Agradeço à equipe do laboratório NSID, que de forma particular, contribuíram para esta minha conquista pessoal e profissional. E agradeço também, a todos os funcionários do CTG/PPGEP/UFPE.

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro proporcionado para a elaboração desta pesquisa.

E por fim, muito obrigada a todos que me ajudaram seja de forma direta ou indireta para a concretização deste trabalho e para mais um passo em minha formação acadêmica.

RESUMO

Métodos de apoio à decisão são desenvolvidos para oferecer suporte à resolução de problemas de decisão multicritério, fornecendo uma abordagem estruturada. A implementação desses métodos em um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) auxilia o decisor a resolver problemas decisões pessoais e/ou organizacionais. Durante o processo decisório em um SAD, os aspectos comportamentais podem influenciar tomada de decisão. Nesse contexto, a avaliação destes aspectos têm sido alvo de estudos na área de Neurociência em Decisão. O objetivo deste trabalho é avaliar o esforço cognitivo de decisores ao expressar suas preferências durante o processo decisório com o método FITradeoff em comparação com o procedimento Tradeoff, a partir de resultados gerados por experimentos comportamentais em decisão, onde dados neurofisiológicos foram coletados usando um Eletroencefalograma (EEG). A análise desses dados indica que há uma maior demanda cognitiva do decisor durante a ordenação das constantes de escala dos critérios e da exploração do espaço de consequências ao utilizar o procedimento Tradeoff. Os dados da etapa de elicitación de preferências seguem a mesma direção. Com o estudo comparativo, foi possível observar um decréscimo dos valores de potência cerebral nas bandas de frequência Alpha e Theta quando os decisores realizaram a elicitación de preferências com o método FITradeoff. Esses resultados podem indicar que a elicitación flexível e interativa do método FITradeoff proporcionou uma experiência com menor esforço cognitivo do decisor, quando comparado ao Tradeoff, sugerindo que os decisores demandaram maior engajamento durante o processo decisório. Este estudo tem importante contribuição para o método FITradeoff pois pretende apresentar as diferenças do processamento cognitivo, encorajando ainda mais a utilização do FITradeoff frente ao Tradeoff e/ou métodos com informação completa. Sugestões de contribuições para o analista durante a assessoria ao decisor também são descritas. Dessa forma, a partir do entendimento do processo decisório com o FITradeoff, este método pode ser ainda mais aplicado para a resolução de problemas sociais, ambientais e econômicos de nosso país.

Palavras-chave: neurociência em decisão; aspectos comportamentais em decisão; método FITradeoff; procedimento tradeoff; elicitación de preferências; desenho do SAD.

ABSTRACT

Decision support methods are developed to support multicriteria problem solving, providing a structured approach. The implementation of these methods in a Decision Support System (DSS) assists the decision maker to solve personal and/or organizational decisions. During the decision-making process in a DSS, behavioral aspects can influence decision-making. In this context, the evaluation of these aspects has been the target of studies in the field of Decision Neuroscience. The objective of this work is to evaluate the cognitive effort of decision-makers when expressing their preferences during the decision-making process with the FITradeoff method compared to the Tradeoff procedure, from the results generated by behavioral experiments in decision, where neurophysiological data correlated with cognitive effort were collected through Electroencephalogram (EEG) signals. The analysis of these data indicates that there is an increased cognitive demand on the decision maker during the ordering of the criteria scaling constants and exploration of the consequence space when using the Tradeoff procedure. The data from the preference elicitation stage follow the same direction. With the comparative study, it was possible to observe a decrease in brain power values in the Alpha and Theta frequency bands when the decision makers performed preference elicitation with the FITradeoff method. These results may indicate that the flexible and interactive elicitation of the FITradeoff method provided an experience with minor cognitive effort from the decision maker when compared to Tradeoff, suggesting that decision makers request more engagement during the decision making process. This study has an important contribution to the FITradeoff method as it aims to present the differences in cognitive processing, further encouraging the use of FITradeoff versus Tradeoff and/or methods with complete information. Suggestions of contributions for the analyst during the decision maker's advice are also described. Thus, from the understanding of the decision making process with FITradeoff, this method can be even more applied to solve social, environmental and economic problems in our country.

Keywords: decision neuroscience; behavioral aspects in decision; FITradeoff method; tradeoff procedure; preference elicitation; SAD design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Descrição de etapas do Tradeoff e FITradeoff.....	21
Figura 2 – Fluxograma com o escopo da dissertação.....	24
Figura 3 – Fluxograma das etapas do procedimento Tradeoff	30
Figura 4 – Elicitação por decomposição no método FITradeoff.....	32
Figura 5 – Avaliação holística no SAD do método FITradeoff	33
Figura 6 – Definição dos quadrantes no Diagrama de Quadrantes Alpha-Theta	40
Figura 7 – Sequência dos experimentos	48
Figura 8 – Layout do experimento com o procedimento Tradeoff	49
Figura 9 – Localização dos canais do EEG no couro cabeludo.....	49
Figura 10 – Diagrama Alpha-Theta para etapas do Tradeoff.....	85
Figura 11 – Diagrama Alpha-Theta para etapas do FITradeoff	88
Figura 12 – Padrão de comportamento de participantes distintos utilizando FITradeoff	90
Figura 13 – Diagrama Alpha-Theta para os participantes nº 15 e nº 49.....	94
Figura 14 – Diagrama Alpha-Theta para o participante nº 31.....	95
Figura 15 – Síntese dos resultados para os canais do EEG	105
Figura 16 – Síntese dos resultados com o Diagrama Alpha-Theta.....	106
Figura 17 – Síntese dos resultados do índice de engajamento POPE.....	106
Figura 18 – Ordenação das constantes de escala dos critérios no SAD do FITradeoff.....	112
Figura 19 – Ordenação final das constantes de escala pelo decisor no SAD do FITradeoff..	112
Figura 20 – Resultados parciais após a etapa de ordenação	113
Figura 21 – Elicitação por decomposição no SAD do FITradeoff.....	114

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definição do estado mental associado a cada banda de frequência	36
Quadro 2 – Eletrodos do EEG associados à regiões do cérebro.....	49
Quadro 3 – Etapas correspondentes ao procedimento Tradeoff.....	51
Quadro 4 – Etapas correspondentes ao método FITradeoff	52
Quadro 5 – Descrição das amostras para cada análise	53
Quadro 6 – Padrão de comportamento dos participantes para cada etapa do Tradeoff.....	86
Quadro 7 – Padrão de comportamento dos participantes para cada etapa do FITradeoff.....	91
Quadro 8 – Padrão de comportamento dos participantes para etapa de ordenação.....	96
Quadro 9 – Padrão de comportamento dos participantes para etapa de exploração.....	96
Quadro 10 – Padrão de comportamento dos participantes para etapa de elicitação.....	97
Quadro 11 – Descrição dos critérios	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre as Etapas 2 e 3 do método FITradeoff.....	56
Tabela 2 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff para etapa de Ordenação	57
Tabela 3 – Comparação entre as Etapas 1 e 2 do Tradeoff	59
Tabela 4 – Comparação entre as Etapas 2 e 3 do Tradeoff	60
Tabela 5 – Comparação entre as Etapas 3 e 4 do Tradeoff	60
Tabela 6 – Comparação entre as Etapas 1 e 4 do Tradeoff	61
Tabela 7 – Comparação entre as Etapas 2 e 4 do Tradeoff	62
Tabela 8 – Comparação entre as Etapas 2 e 3 do FITradeoff.....	63
Tabela 9 – Comparação entre as Etapas 3 e 4 do FITradeoff.....	64
Tabela 10 – Comparação entre as Etapas 2 e 4 do FITradeoff.....	64
Tabela 11 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de ordenação	65
Tabela 12 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de exploração	66
Tabela 13 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de elicitação	67
Tabela 14 – Comparação entre as etapas 1 e 2 do Tradeoff	68
Tabela 15 – Comparação entre as etapas 2 e 3 do Tradeoff	68
Tabela 16 – Comparação entre as etapas 3 e 4 do Tradeoff	69
Tabela 17 – Comparação entre as etapas 1 e 4 do Tradeoff	70
Tabela 18 – Comparação entre as etapas 2 e 4 do Tradeoff	71
Tabela 19 – Comparação entre as etapas 2 e 3 o método FITradeoff	72
Tabela 20 – Comparação entre as etapas 3 e 4 o método FITradeoff	72
Tabela 21 – Comparação entre as etapas 2 e 4 o método FITradeoff	73
Tabela 22 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de ordenação	74
Tabela 23 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de exploração	74
Tabela 24 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de elicitação	75
Tabela 25 – Comparação entre as etapas 1 e 2 do Tradeoff	76
Tabela 26 – Comparação entre as etapas 2 e 3 do Tradeoff	77
Tabela 27 – Comparação entre as etapas 3 e 4 do Tradeoff	78
Tabela 28 – Comparação entre as etapas 1 e 4 do Tradeoff	78
Tabela 29 – Comparação entre as etapas 2 e 4 do Tradeoff	79
Tabela 30 – Comparação entre as etapas 2 e 3 o método FITradeoff	80
Tabela 31 – Comparação entre as etapas 3 e 4 o método FITradeoff	81
Tabela 32 – Comparação entre as etapas 2 e 4 o método FITradeoff	82

Tabela 33 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de ordenação	82
Tabela 34 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de exploração	83
Tabela 35 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de elicitação	84
Tabela 36 – Percentual do padrão de comportamento para cada etapa do Tradeoff	88
Tabela 37 – Percentual do padrão de comportamento para cada etapa do FITradeoff	93
Tabela 38 – Síntese dos resultados para o POPE index	98
Tabela 39 – Matriz de consequências para problema de escolha de banco digital	111
Tabela 40 – Ciclos de perguntas e respostas consideradas no processo.....	115

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	16
1.2	OBJETIVOS.....	19
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	<i>19</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>19</i>
1.3	METODOLOGIA.....	20
<i>1.3.1</i>	<i>Desenho da Pesquisa</i>	<i>20</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Questões de pesquisa.....</i>	<i>21</i>
<i>1.3.3</i>	<i>Local da pesquisa e amostra de participantes.....</i>	<i>22</i>
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
<i>2.1.1</i>	<i>Decisão Multicritério</i>	<i>25</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Procedimento Tradeoff.....</i>	<i>29</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Método FITradeoff.....</i>	<i>31</i>
<i>2.1.4</i>	<i>Neurociência em Decisão</i>	<i>34</i>
<i>2.1.4.1</i>	<i>Neurociência em Decisão Multicritério</i>	<i>38</i>
<i>2.1.5</i>	<i>Análises realizadas a partir de dados neurofisiológicos obtidos com EEG.....</i>	<i>39</i>
2.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	41
<i>2.2.1</i>	<i>Aplicações com o método FITradeoff e estudos comportamentais com o procedimento Tradeoff.....</i>	<i>42</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Estudos com uso da abordagem de Neurociência para investigação do processo decisório.....</i>	<i>43</i>
2.3	SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTA TRABALHO.....	45
3	EXPERIMENTOS PARA INVESTIGAÇÃO DA ELICITAÇÃO POR DECOMPOSIÇÃO	47
3.1	EXPERIMENTOS PRÉVIOS DESENVOLVIDOS	47
<i>3.1.1</i>	<i>Procedimento de execução dos experimentos</i>	<i>47</i>
<i>3.1.2</i>	<i>Equipamentos e Materiais</i>	<i>48</i>
3.2	EXPERIMENTO PARA INVESTIGAÇÃO DO PROCEDIMENTO TRADEOFF	50
3.3	EXPERIMENTO PARA INVESTIGAÇÃO DO MÉTODO FITRADEOFF	52

3.4	COMPARAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	53
4	RESULTADOS COMPARATIVOS USANDO O EEG.....	55
4.1	ANÁLISES COM OS VALORES DE PORÊNCIA NAS BANDAS DE FREQUENCIA ALPHA, BETA E TETHA.....	58
4.1.1	<i>Análise Banda Alpha</i>	59
4.1.1.1	Resultados para o procedimento Tradeoff	59
4.1.1.2	Resultados para o método FITradeoff.....	63
4.1.1.3	Resultados da análise comparativa entre o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff	65
4.1.2	<i>Análise Banda Beta</i>.....	67
4.1.2.1	Resultados para o procedimento Tradeoff	68
4.1.2.2	Resultados para o método FITradeoff.....	71
4.1.2.3	Resultados da análise comparativa entre o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff	74
4.1.3	<i>Análise Banda Theta</i>.....	76
4.1.3.1	Resultados para o procedimento Tradeoff	76
4.1.3.2	Resultados para o método FITradeoff.....	80
4.1.3.3	Resultados da análise comparativa entre o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff	82
4.2	ANÁLISES COM O DIAGRAMA ALPHA-THETA.....	85
4.2.1	<i>Diagrama Alpha-Theta para etapas do Tradeoff</i>.....	85
4.2.2	<i>Diagrama Alpha-Theta para participantes do Tradeoff</i>.....	86
4.2.3	<i>Diagrama Alpha-Theta para etapas do FITradeoff</i>	88
4.2.4	<i>Diagrama Alpha-Theta para os participantes do FITradeoff</i>.....	90
4.2.5	<i>Diagrama Alpha-Theta comparativo entre o Tradeoff e o FITradeoff</i>.....	94
4.3	RESULTADOS DO ÍNDICE DE ENGAJAMENTO POPE.....	98
4.4	DISCUSSÃO DE RESULTADOS	100
4.4.1	<i>Análises dos dados de potência cerebral para cada canal do EEG</i>.....	100
4.4.2	<i>Análises dos resultados com o Diagrama Alpha-Theta</i>.....	102
4.4.3	<i>Análises com o índice de engajamento POPE</i>	103
4.5	SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	104
4.5.1	<i>Síntese dos resultados para cada canal do EEG</i>.....	104
4.5.2	<i>Síntese dos resultados com o Diagrama Alpha-Theta</i>.....	106
4.5.3	<i>Síntese dos resultados com o índice de engajamento POPE</i>.....	106

4.6	RECOMENDAÇÕES, SUGESTÕES E INSIGHTS	106
5	USO DOS RESULTADOS EM UMA APLICAÇÃO COM O FITRADEOFF	109
5.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	109
5.2	RESOLUÇÃO DO PROBLEMA COM O FITRADEOFF	111
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	117
6.1	CONCLUSÕES	117
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	119
	REFERÊNCIAS.....	120

1 INTRODUÇÃO

Da perspectiva de uma organização, diversas decisões são tomadas diariamente e, os desafios da competitividade reforçam a necessidade de que as organizações busquem por ferramentas que colaborem com a capacidade de tomar decisões certas e consistentes com os objetivos a serem alcançados ao tomar tais decisões (DE ALMEIDA, 2013). Nesse contexto, o processo de tomada de decisão pode envolver problemas de decisão multicritério, que são assim caracterizados quando possuem múltiplos objetivos a serem alcançados, muitas vezes conflitantes entre si e, duas ou mais alternativas de ação, avaliadas em atributos (KEENEY; RAIFFA, 1976). Outra característica fundamental de um problema de decisão multicritério, é a presença de um decisor. Esse decisor possui um julgamento de valores que será utilizado no processo decisório para escolher, ordenar ou classificar as alternativas, de acordo com sua estrutura de preferências, considerando o compromisso entre os múltiplos objetivos envolvidos (BELTON; STEWART, 2002).

Métodos de apoio à decisão multicritério incluem uma série de etapas que auxiliam sistematicamente os decisores e as partes interessadas na estruturação de um problema de decisão, na modelagem de preferências e na construção de uma recomendação de decisão consistente com essas preferências (DE ALMEIDA *et al.*, 2015). Com relação aos métodos presentes na literatura, Roy (1996) caracteriza os métodos em três grupos: Métodos de Agregação a Critério Único de Síntese, métodos de sobreclassificação, e métodos iterativos, de modo que cada um desses métodos foram construídos com base em uma estrutura axiomática e/ou metodológica distinta. Ressaltam-se, devido ao seu amplo uso, os modelos aditivos (DE ALMEIDA, 2013). Nesses métodos, a elicitação das constantes de escala é considerada o cerne do processo decisório (KEENEY; RAIFFA, 1976).

Em modelos aditivos, a modelagem de preferências busca uma avaliação com informação completa ou parcial e pode ser dividida em dois paradigmas: avaliação holística ou elicitação por decomposição (DE ALMEIDA; FREJ E ROSELLI, 2021). Conforme Weber (1987), métodos que trabalham com informação completa, exigem uma estrutura de preferências bem definida e estável, como exemplo: o procedimento Tradeoff (KEENEY; RAIFFA, 1976). Essa especificação demanda esforço cognitivo e, pode conduzir a altas taxas de inconsistências – 67%, de acordo com estudos comportamentais desenvolvidos por Weber e Borchering (1993) e Borchering, Eppel e Von Winterfeldt (1991). Tais características tornaram-se a principal motivação para o surgimento de métodos que utilizam informação parcial, os quais buscam estabelecer relações de preferência estrita, visando reduzir o esforço cognitivo do decisor

(WEBER, 1987), como exemplo, o método de elicitación por Tradeoff Interativo e Flexível – FITradeoff, proposto por De Almeida *et al.* (2016).

Nesse contexto, Bazerman (2004) defende que os aspectos cognitivos inerentes ao processo decisório devem ser analisados para a compreensão global da escolha realizada por parte do decisor. Conforme Eagleman (2015), os seres humanos podem apresentar aspectos comportamentais, não conscientes, durante a execução de um processo decisório. O esforço cognitivo tem implicado várias teorias sobre o comportamento e a resposta fisiológica ao envolvimento com tarefas exigentes (WESTBROOK; BRAVER, 2015). Avaliar o esforço cognitivo de decisores para expressar suas preferências é uma das questões mais importantes para reduzir as inconsistências no processo decisório (FEHRENBACHER; DJAMASBI, 2017).

Com a finalidade de superar as divergências atreladas à modelagem dos métodos para resolução de problemas de decisão multicritério, a abordagem da Neurociência em Decisão tem alcançado um expressivo progresso, nos últimos anos, incorporando os equipamentos de neurociência para a obtenção de registros temporais, diretamente do cérebro, tal como medidas fisiológicas que podem estar associadas aos processos cognitivos dos seres humanos (MAGEN *et al.*, 2014; HAKIMI; HARE, 2015; MASSAR *et al.*, 2016). A abordagem da neurociência é caracterizada como multidisciplinar, pois integra diversas áreas de conhecimento (ZHAO *et al.*, 2016).

Mensurar variáveis psicofisiológicas do decisor, a partir de ferramentas de neurociência, permitem que as preferências do decisor sejam melhor identificadas, bem como as previsões de comportamento (LINKOV *et al.*, 2012). De acordo com Wallenius e Wallenius (2020), atualmente, estudos avançados em decisão multicritério têm sido desenvolvidos no âmbito comportamental e podem proporcionar *insights* importantes sobre os processos de tomada de decisão. Esses estudos, por sua singularidade, podem oferecer ideias para pesquisadores que atuam na área, na medida em que integram processos cognitivos com suas bases neurais, por meio de tarefas inovadoras adaptadas aos diversos objetivos de pesquisa (ROSELLI; FREJ; DE ALMEIDA, 2018a).

Nessa perspectiva, Roselli, Frej e De Almeida (2018b) realizaram experimentos de neurociência, a fim de investigar o comportamento dos decisores nas categorias de visualizações gráficas, disponíveis no Sistema de Apoio à Decisão (SAD) do FITradeoff, os autores exploraram as variáveis do diâmetro da pupila e da duração da fixação, coletadas por *Eye-tracking*. Frej *et al.* (2017) e Roselli *et al.* (2020) exploram que a partir da não necessidade do decisor expressar todos os exatos pontos de indiferença, ao realizar a comparação das

consequências, uma redução do esforço cognitivo do decisor é observada, havendo, geralmente, menos inconsistências, constatado em partes na pesquisa dos autores da Silva e Costa (2020).

De Almeida, Frej e Roselli (2021) relataram uma nova característica na flexibilidade do FITradeoff, combinando e integrando a avaliação holística com a elicitación por decomposição. As ferramentas de Neurociência explicam resultados sobre a modulação de mudanças no projeto do SAD do método, além de informações sobre a melhoria do processo de decisão, a fim de apoiar a forma como o analista pode interagir com os decisores. Roselli *et al.* (2020) realizaram um experimento a fim de avaliar o comportamento do decisor na elicitación por decomposição com o procedimento Tradeoff no que se refere ao esforço cognitivo e engajamento, além de explorar a inconsistência durante o processo. Da Silva, Costa e De Almeida (2021) trataram em seu estudo de uma análise exploratória dos aspectos cognitivos relacionados ao processo de elicitación por decomposição pelo método FITradeoff para diferentes problemas de decisão, com o objetivo de identificar como os níveis de esforço cognitivo mudam ao longo das etapas do método e para diferentes tipos de critérios.

Conforme exposto nos parágrafos anteriores, trabalhos encontrados na literatura abordam os aspectos comportamentais presentes no processo de tomada de decisão, a partir do uso de ferramentas da neurociência. Sendo o processo de elicitación de preferências considerado uma das questões mais importantes e por muitas vezes complexa (BELTON; STEWART, 2002, SALO; PUNKKA, 2005) em métodos multicritério, os autores dessa área buscam identificar aspectos relacionados à demanda cognitiva durante a elicitación de preferências sob o paradigma da avaliação holística ou elicitación por decomposição. Roselli *et al.* (2020) e Da Silva, Costa e De Almeida (2021) abordaram de forma individual o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff, respectivamente.

Esta pesquisa, portanto, busca realizar um estudo comparativo dos aspectos cognitivos relacionados ao processo de elicitación entre etapas adjacentes do método FITradeoff, entre etapas adjacentes do procedimento Tradeoff e pelo método FITradeoff em comparação ao procedimento Tradeoff, durante as etapas de: ordenação das constantes de escala dos critérios, exploração do espaço de consequências e elicitación das constantes de escala. O estudo será realizado para diferentes problemas de decisão, sob o paradigma da elicitación por decomposição.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Cinelli *et al.* (2022) discorrem que as preferências estão condicionadas às circunstâncias em que sejam modeladas e podem ser influenciadas por fatores internos (limitações humanas

naturais, como: atenção, memória de trabalho e experiências) e fatores externos (quantidade de informação requerida por um método, tipo de estrutura de preferências exigidas e tempo dispendido no processo). Portanto, o processo de elicitación das preferências do decisor é provavelmente uma das questões mais importantes na modelagem multicritério, conforme discutido em De Almeida *et al.* (2016), pois elucidada, no modelo, o significado que cada critério tem no processo de decisão (WANG *et al.*, 2010).

As preferências são moldadas durante o processo de elicitación (DRAGONE; TESO; PASSERINI, 2018). Cada decisor têm sua estrutura de preferências que representam imprecisões e incertezas das avaliações devido a uma abordagem subjetiva, tornando o processo de elicitación das constantes de escala uma tarefa complexa para os decisores desenvolverem, sendo o maior desafio dentro deste grupo de métodos (DE ALMEIDA *et al.*, 2016). Salo e Punkka, (2005) afirmam que na prática, a elicitación das constantes de escala não é um processo simples, pois diversos fatores podem tornar a elicitación difícil, tais como: a quantidade e tipo de informação requerida por parte do decisor; a urgência da decisão e dificuldades conceituais a respeito da interpretação de objetivos intangíveis.

Nessa perspectiva, o foco de principal refinamento no desenvolvimento dos Sistemas de Apoio à Decisão (SADs), diz respeito a mensuração de aspectos comportamentais associados a fatores como: tipo de recomendação de decisão; as estratégias que podem ser usadas para conduzir a uma recomendação de decisão; os modelos matemáticos para lidar com as interações entre os critérios e a incerteza nas escalas de medição (CINELLI *et al.*, 2021; DE ALMEIDA; FREJ; ROSELLI, 2021). O interesse por melhor compreender os aspectos cognitivos no processo decisório, somado à popularização das ferramentas de neurociências, fez emergir novas áreas de estudo que integram as técnicas e métodos tradicionais de cada área de pesquisa com as ferramentas da neurociência (GLIMCHER; FEHR, 2013; KAHNEMAN, 2013).

De acordo com De Almeida *et al.* (2016), o FITradeoff foi originalmente desenvolvido para resolver problemas multicritério para problemática de escolha. Este método foi criado com base em toda a estrutura axiomática do procedimento clássico de tradeoff (KEENEY; RAIFFA, 1976), buscando melhorar sua aplicabilidade, pois, a recomendação final pode ser indicada com base em informações parciais fornecidas pelo decisor. Borges *et al.* (2022) realizam uma revisão sistemática da literatura sobre métodos de decisão multicritério que lidam com informações parciais, focalizando no contexto da Teoria do Valor/Utilidade Multi-Atributo, os autores relatam que nesta perspectiva, o surgimento e crescimento de métodos parciais (incompletos ou imprecisos) baseados em informações é indicativo de que estes são uma forma

útil de orientar a tomada de decisão, uma vez que requerem menos informações cognitivas do decisor.

Porém, não foram identificados na revisão de literatura estudos que exploram a comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff no sentido de avaliar os aspectos comportamentais e cognitivos durante a eliciação de preferências para verificar se ocorre a redução do esforço cognitivo ao utilizar o método FITradeoff. Roselli *et al.* (2020) e Da Silva, Costa e De Almeida (2021), abordaram de forma individual o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff, respectivamente.

Dessa forma, a justificativa essencial para o desenvolvimento deste estudo encontra-se apoiada na realização de um estudo comparativo dos aspectos cognitivos relacionados ao processo de eliciação pelo método FITradeoff em comparação ao procedimento Tradeoff, para diferentes problemas de decisão, sob o paradigma da eliciação por decomposição e, assim, verificar quando a atividade cerebral no processo decisório pode se assemelhar mais com a de uma pessoa em estado de relaxamento ou no estado de alto esforço cognitivo, assim auxiliando na compreensão dos fatores que afetam a tomada de decisão. Responder estas questões poderá promover *insights* para apoiar o analista no processo de decisão junto ao decisor e contribuir para o estado da arte do método FITradeoff.

O método FITradeoff, selecionado como foco de melhoramento a partir dos resultados desse estudo, apresenta bons indicadores de uso e encontra-se disponível em <http://www.fitradeoff.org> e está disponível para acesso e uso via web em <http://cdsid.org.br/fitradeoff/>. Conforme consulta em 26 de setembro de 2021, a fonte Mendeley indicava 188 citações de seu artigo inicial (DE ALMEIDA *et al.*, 2016), tendo sido visto ou baixado (*download*) em mais de 60 países. Trabalhos desenvolvidos com o objetivo de contribuir com melhoramentos no SAD do FITradeoff, abordando aspectos comportamentais, como o de Roselli, Frej e De Almeida (2018a), receberam premiações em eventos internacionais, o que destaca o interesse da comunidade científica e internacional acerca da integração da neurociência e o contexto da decisão multicritério.

A relevância do presente trabalho pode ser observada pela utilização de uma abordagem que integra dados neurofisiológicos advindos da abordagem de Neurociência, aos métodos de apoio a decisão multicritério, para avaliar os aspectos comportamentais gerados pelo uso do método FITradeoff, contribuindo com essa área de pesquisa que integra as técnicas e métodos tradicionais para resolução de problemas multicritério com as ferramentas da neurociência. Níveis de esforço cognitivo, atenção e engajamento servem para testar hipóteses sobre o

desempenho do FITradeoff e a influência de variáveis com as quais o decisor interage ao longo do processo de eliciação de preferências.

Destarte, as organizações perpassam um mercado altamente competitivo, o qual gera desafios contínuos em projetar sistemas de apoio a decisão eficazes que auxiliem gestores na tomada de decisão eficaz e que esteja alinhada com o objetivo estratégico organizacional. Detectar o impacto da demanda da tarefa na cognição de forma discreta, por meio dos dados neurofisiológicos obtidos durante o processo decisório com esses SADs, é uma contribuição de importante relevância para a literatura, pois a demanda cognitiva tem importante impacto na eficácia com que as ferramentas de decisão implementadas em um SAD são utilizadas.

1.2 OBJETIVOS

Este item apresenta o objetivo geral desta pesquisa, seguido dos objetivos específicos construídos visando alcançar o objetivo geral.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é realizar um estudo comparativo com relação a aspectos cognitivos como esforço cognitivo e engajamento de decisores, ao realizar um processo decisório com o SAD do método FITradeoff em comparação com o uso do SAD do procedimento Tradeoff, por meio do auxílio das ferramentas de Neurociência.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para a consolidação do objetivo geral, os seguintes objetivos específicos necessitam ser desenvolvidos:

- a) Explorar a abordagem da Neurociência como ferramenta de apoio para o desenvolvimento de estudos, experimentos e assim, contribuições associadas a eliciação de preferências em decisão multicritério no contexto de modelos aditivos e de racionalidade compensatória;
- b) Avaliar se atividades cerebrais relacionadas ao esforço cognitivo se diferem entre etapas adjacentes do método FITradeoff;
- c) Avaliar se atividades cerebrais relacionadas ao esforço cognitivo se diferem entre etapas adjacentes do procedimento Tradeoff;

- d) Avaliar se atividades cerebrais relacionadas ao esforço cognitivo se diferem ao resolver um problema de decisão com o método FITradeoff em comparação com o procedimento Tradeoff;
- e) Com base nos resultados encontrados, contribuir com insights para apoiar o analista durante o processo de assessoria ao decisor, especialmente no que se refere a quais etapa o analista pode dispensar maior atenção durante o processo decisório com o FITradeoff.

1.3 METODOLOGIA

Neste tópico serão descritos os pressupostos metodológicos a serem utilizados neste trabalho.

1.3.1 Desenho da Pesquisa

A pesquisa caracteriza-se como de natureza exploratória, com intuito de proporcionar maior familiaridade ao problema, formulando investigação e desenvolvendo hipóteses de trabalho a fim de obter ideais e *insights* sobre o tema de pesquisa (GIL, 2017).

O delineamento dos métodos de pesquisa desse estudo, são caracterizados como qualitativa, visto que a literatura destaca evidências de um consenso, teórico, quanto ao entendimento de que as abordagens qualitativas e quantitativas devem ser divisadas como complementares, em vez de mutuamente excludentes (SOUZA; KERBAUY, 2017). Com relação a abordagem qualitativa, é assim caracterizada pois a pesquisa irá obter informações de fenômenos segundo a visão dos indivíduos, e também pode ser classificada como quantitativa, já que houve mensuração de dados e estudos estatísticos.

No que diz respeito aos procedimentos deste estudo, têm-se a pesquisa documental, esta que ocorre quando um pesquisador faz uso de documentos existentes com o objetivo de extrair deles informações, por meio de investigação, utilizando de técnicas apropriadas para seu manuseio e análises (SÁ-SILVA *et al.*, 2009). Este estudo faz uso de dados fornecidos a esta pesquisa como fonte secundária.

Com relação as etapas da pesquisa, divide-se em: Etapa 1) Revisão de literatura; Etapa 2) Coleta e tratamento dos dados secundários; Etapa 3) Definição de métricas a serem avaliadas e das análises estatísticas a serem realizadas; Etapa 5) Análise estatística dos dados coletados; Etapa 6) Análise das métricas de avaliação definidas; Etapa 7) Análise e discussão dos resultados; Etapa 8) Redação final.

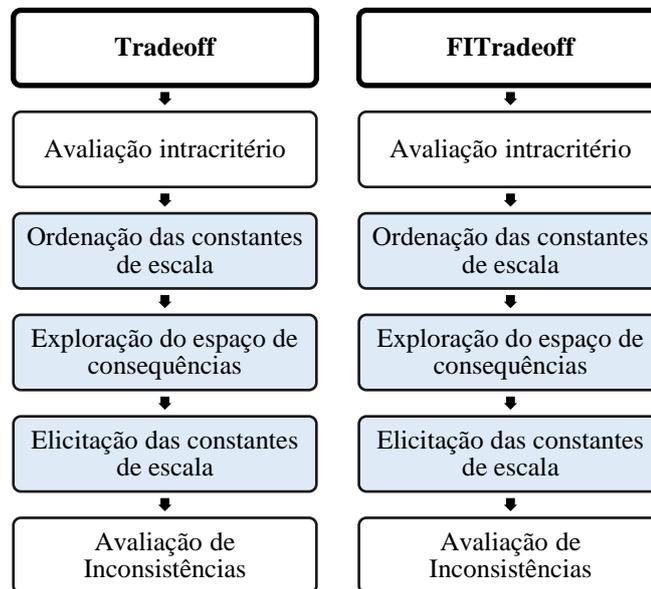
1.3.2 Questões de pesquisa

Com base na justificativa principal, algumas questões de pesquisa foram elaboradas: É possível identificar diferentes níveis de esforço cognitivo entre etapas adjacentes da elicitação por decomposição com o procedimento Tradeoff? E para o método FITradeoff? Ao realizar uma análise da atividade cerebral dos participantes, há uma redução da sobrecarga cognitiva/esforço cognitivo e aumento do engajamento ao realizar a elicitação de preferências com o método FITradeoff quando comparado a elicitação com o procedimento Tradeoff?

Assim, para responder tais questionamentos, esta pesquisa busca identificar como os níveis de esforço cognitivo mudam, durante a elicitação por decomposição: 1) entre etapas adjacentes do procedimento Tradeoff; 2) entre etapas adjacentes do método FITradeoff e 3) ao realizar uma análise comparativa entre o procedimento Tradeoff e método FITradeoff, para etapas em comum aos métodos. Os dados foram coletados de experimentos comportamentais em decisão, obtidos com uma técnica de neuroimagem funcional, o EEG.

Conforme será explanado no Capítulo II, o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff apresentam uma estrutura de etapas semelhante. A síntese da descrição dessas etapas é ilustrada a partir da Figura 1, sendo destacas as etapas semelhantes ao Tradeoff e FITradeoff.

Figura 1 - Descrição de etapas do Tradeoff e FITradeoff



Fonte: A Autora (2021).

A etapa de avaliação da função valor marginal ou avaliação intracritério, para o procedimento Tradeoff, foi realizada por meio do método da bisseção. Esse método tem como objetivo encontrar o ponto exato de indiferença para cada critério e foi utilizado neste experimento devido à estrutura do procedimento Tradeoff. Para o método FITradeoff, a etapa

de avaliação intracritério é realizada conforme procedimentos de elicitación de função valor para modelos aditivos. A etapa de ordenação das constantes de escala dos critérios é apresentada e executada da mesma forma para ambos o Tradeoff e o FITradeoff.

Já as etapas de exploração do espaço de consequências e elicitación das constantes de escala diferenciam-se. Para essas etapas, comparações são realizadas apresentando valores de consequências associadas a critérios adjacentes, seguindo a ordem definida na etapa de ordenação. O que difere do Tradeoff tradicional, é que para o FITradeoff apenas preferências estritas são necessárias, não sendo imposto ao decisor que este encontre uma relação de indiferença para todas as comparações entre os critérios adjacentes, como é realizado no Tradeoff.

A avaliação de inconsistências é uma etapa realizada a partir das informações de preferência, para verificar se o decisor foi consistente durante o processo. Nesta pesquisa, para o Tradeoff e o FITradeoff, serão avaliadas as etapas descritas, com exceção da avaliação de inconsistências. Quando realizada a análise comparativa entre os o Tradeoff e o FITradeoff, apenas os dados de etapas semelhantes (destacadas em azul) foram utilizados.

1.3.3 Local da pesquisa e amostra de participantes

Este trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, precisamente no NSID (*NeuroScience for Information and Decision Laboratory*), que é um laboratório vinculado ao Instituto Nacional em Sistemas de Informação e Decisão (INCT). Foram obtidos dados de experimentos comportamentais em decisão, realizados em 2020 e 2021 no laboratório NSID, os quais serão relatados detalhadamente no Capítulo III, com informações sobre: o procedimento de execução dos experimentos, os equipamentos utilizados, as variáveis de estudo, as amostras de cada experimento e de cada análise desenvolvida, os problemas de decisão abordados, bem como os procedimentos para coleta e análise dos dados.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em seis capítulos:

O Capítulo I apresenta a Introdução, Justificativa, Relevância para o desenvolvimento deste trabalho e, os respectivos Objetivos esperados. No tópico que discorre, é apresentada a Metodologia de pesquisa. Por fim, o capítulo encerra com a Estrutura do trabalho.

O Capítulo II apresenta a Fundamentação Teórica. A base conceitual utilizada para esta pesquisa consiste em quatro itens: o primeiro trata de conceitos relacionados à Decisão

Multicritério; o segundo item trata do procedimento Tradeoff, seguido do item que descreve o método FITradeoff. O item posterior, versa sobre Neurociência e Decisão e o uso de Neurociência em Decisão Multicritério. A Revisão Bibliográfica consiste em: abordar aplicações com o método FITradeoff e estudos comportamentais em decisão para o procedimento Tradeoff; estudos de neurociência em decisão e estudos de neurociência em decisão com o Eletroencefalograma (EEG), bem como o posicionamento deste trabalho frente aos trabalhos já existentes na literatura por meio da Revisão Bibliográfica.

O Capítulo III trata dos Experimentos para investigação da elicitación por decomposição e apresenta detalhes dos experimentos os quais os dados para esta pesquisa foram fornecidos como fonte secundária. O primeiro experimento foi realizado com o SAD do procedimento Tradeoff e o segundo, com o SAD do método FITradeoff, ambos desenvolvidos para fins de pesquisa no laboratório CDSID (*Center for Decision Systems and Information Development*) da UFPE. Inicialmente, é feita a apresentação das características gerais dos experimentos, tais como: os procedimentos para execução dos experimentos, os equipamentos utilizados e as variáveis de estudo. Em seguida, são apresentadas as especificações de cada experimento, tais como as amostras consideradas, a estrutura do SAD e o desenho experimental. Por fim, a comparação entre os dois experimentos, relatando em que etapas se concentram as análises desta pesquisa.

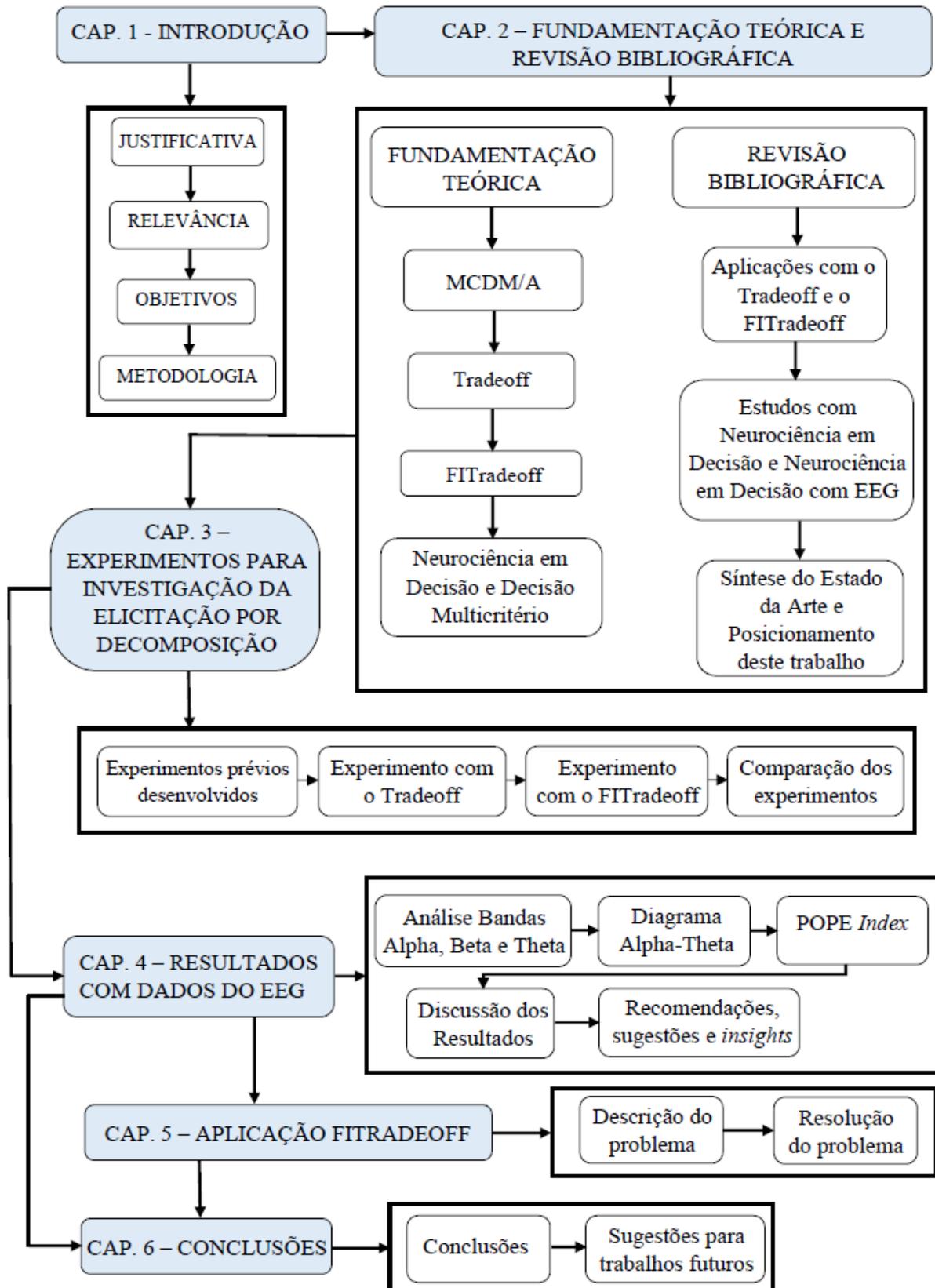
O Capítulo IV apresenta os resultados comparativos dos experimentos aplicados para avaliar o esforço cognitivo e o engajamento durante a elicitación por decomposição a partir dos dados do eletroencefalograma (EEG). Foram analisados dados de potência cerebral para as bandas de frequência Alpha, Theta e Beta durante a elicitación de preferências com o procedimento Tradeoff, comparando etapas adjacentes; com o método FITradeoff, comparando etapas adjacentes e comparando o FITradeoff com o Tradeoff para as etapas de ordenação das constantes de escala dos critérios, exploração do espaço de consequências e elicitación das constantes de escala. Além disso, fazem parte do desenvolvimento do capítulo a discussão dos resultados, recomendações, sugestões e *insights*.

O Capítulo V traz a resolução de um case através de uma aplicação com o método FITradeoff, para ilustrar alguns dos resultados obtidos e desenvolvidos neste estudo.

O Capítulo VI realiza uma síntese final do estudo desenvolvido, apresentando as conclusões dos resultados obtidos, os quais são utilizados para gerar sugestões de pesquisa para trabalhos futuros.

A estrutura do trabalho encontra-se ilustrada com a Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma com o escopo da dissertação



Fonte: A Autora (2021).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos que permeiam esta pesquisa através da Fundamentação Teórica, bem como os principais avanços em pesquisas na área de estudo a partir de uma Revisão Bibliográfica. Por fim, será apresentada a síntese do estado da arte e posicionamento desta pesquisa.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A base conceitual utilizada para esta pesquisa é apresentada a seguir e consiste em cinco itens: o primeiro trata de conceitos relacionados à Decisão Multicritério; o segundo item trata do procedimento Tradeoff, seguido do item que descreve o método FITradeoff. O item posterior versa sobre o uso de Neurociência e Decisão e, por fim, o último relata estudos com aplicações na área de Neurociência em Decisão Multicritério.

2.1.1 Decisão Multicritério

O uso de Métodos de Apoio à Decisão Multicritério, do inglês *Multi-Criteria Decision Making/Aiding* (MCDM/A) tem aumentado consistentemente devido a situações cotidianas de tomada de decisão onde há pelo menos duas alternativas e a escolha por uma dessas alternativas é conduzida pelo desejo de se atender a múltiplos objetivos, muitas vezes conflitantes entre si (KEENEY; RAIFFA, 1976), enquanto lida com *tradeoffs*, o que exige avaliações de múltiplos critérios (BELTON; STEWART, 2002). Com relação aos métodos presentes na literatura, De Almeida *et al.* (2015) destacam que existem diversas classificações para diferenciá-los e cada um desses métodos foram construídos com base em uma estrutura axiomática e/ou metodológica distinta.

Conforme Roy (1996), têm-se três grupos: Métodos de Agregação a Critério Único de Síntese, Métodos de Sobreclassificação, e Métodos Interativos. Os Métodos Interativos podem ser associados à métodos que tratam de problemas contínuos ou discretos. Para o grupo de Métodos de Sobreclassificação, destaca-se a família de métodos PROMETHEE (VINCKE e BRANS, 1985) e ELECTRE (ROY, 1996). Ressalta-se, devido ao seu amplo uso, os Métodos de Agregação a Critério Único de Síntese, com métodos baseados na Teoria do Valor Multi-Atributo (*Multi-Attribute Value Theory* – MAVT) e na Teoria da Utilidade Multi-Atributo (*Multi-Attribute Utility Theory* - MAUT) que fazem uso da agregação aditiva, onde os critérios são agregados em um único critério de síntese.

Para De Almeida *et al.* (2015), outra forma de classificação pode ser utilizada para compreender o problema de decisão, considerando a racionalidade do decisor em compensatória e não compensatória. Ainda conforme os autores, os métodos compensatórios admitem que exista uma compensação para o decisor com relação aos critérios, ou seja, há *tradeoffs* entres os critérios. Para o decisor com racionalidade não-compensatória, não importa o quanto uma alternativa tem um desempenho melhor do que outra alternativa em determinado critério e sim, o subconjunto de critérios onde uma alternativa é a melhor.

Após a definição do método multicritério que será utilizado, para solucionar o problema de decisão, devem-se realizar os ajustes dos dados de entrada e em seguida, construir a matriz de consequências do problema. Essa matriz reúne todos os dados do problema, onde as colunas representam os critérios os quais as alternativas serão avaliadas e as linhas, as alternativas do problema (DE ALMEIDA, 2013). Em seguida, faz-se necessário realizar a avaliação intracritério, para definir a função valor marginal de cada critério e, a avaliação intercritério, para definir o valor das constantes de escala dos critérios (para modelos aditivos) ou dos pesos dos critérios (para métodos de sobreclassificação), de acordo com as preferências do decisor (BELTON; STEWART, 2002).

No contexto do MAVT, no qual o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff estão inseridos, após as avaliações intracritério e intercritério, é feito o cálculo da função valor global para cada alternativa ou score da alternativa, representada por $v(a)$, conforme apresentado na Equação (1), (DE ALMEIDA, 2013):

$$v(a) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(a) \quad (1)$$

Onde n representa a quantidade total de critérios do problema, $v_j(a)$ se refere ao desempenho da alternativa a no critério j e k_j se refere a constante de escala do critério j normalizado conforme Equação (2):

$$\sum_{j=1}^n k_j = 1; \quad k_j \geq 0 \quad (2)$$

A solução do problema de decisão multicritério é definido a partir do valor global de cada alternativa, de acordo com a problemática. As constantes de escala ou peso dos critérios são elementos fundamentais para os modelos multicritério, Keeney e Raiffa (1976) destacam que no contexto do MAVT, o significado das constantes de escala não é apenas limitado à representação do grau de importância dos critérios para o decisor, é preciso considerar o range de valores das consequências envolvidas no problema. Devido à necessidade de considerar o

range de valores das consequências para estabelecer os valores de k_j , o processo torna-se complexo, isso conduz à necessidade de procedimentos de elicitación de preferências para realizar a avaliação intercritério (DE ALMEIDA *et al.*, 2016).

Salo e Punkka (2005) afirmam que na prática, o procedimento de elicitación das constantes de escala não é um processo simples, pois diversos fatores podem tornar o procedimento cognitivamente exigente, tais como: a quantidade e tipo de informação requerida por parte do decisor; a urgência da decisão e a interpretação de objetivos, muitas vezes repletos de subjetividade e propenso à vieses. De Almeida (2013) destaca que a avaliação das constantes de escala no modelo aditivo, deve ser efetuada sobre o espaço de consequências e, para isso, alguns procedimentos são conhecidos na literatura: o Swing, desenvolvido por Von Winterfeldt e Edwards (1986) e o Tradeoff, proposto por Keeney e Raiffa (1976).

O procedimento de Tradeoff (KEENY; RAIFFA, 1976) é um dos procedimentos mais antigos para elicitación das constantes de escala em modelos aditivos e possibilita a incorporação de função valor não-linear, apresentando uma forte estrutura axiomática. Por outro lado, a elicitación com o decisor é operacionalmente mais complexa e mais exigente cognitivamente na prática (DE ALMEIDA, 2013). O procedimento exige definição de pontos de indiferença entre consequências, para um dos pares de critérios comparados para montar o sistema de equações e assim, encontrar as constantes de escala (EDWARDS; BARRON, 1994).

O procedimento de Swing proposto por Von Winterfeldt e Edwards (1986), é dividido em duas partes: ordenação e estabelecimento dos valores das constantes de escala, dada a ordenação estabelecida na etapa anterior. Descrevem a importância relativa da melhoria de um critério do pior para o melhor nível possível, em comparação com a melhoria do pior para o melhor para os demais critérios (EDWARDS; BARRON, 1994). A principal vantagem do procedimento de Swing em comparação com o procedimento de Tradeoff, é que o Swing não exige o conhecimento da forma das funções de valor marginal, o que requer uma quantidade menor de informações por parte do decisor (LIENERT; DUYGAN; ZHENG, 2016).

Edwards e Barron (1994) discorrem sobre um paradigma relacionado aos procedimentos Tradeoff e Swing, entre erro de modelagem e erro de elicitación. Segundo os autores citados anteriormente, o procedimento de Swing foi desenvolvido com uma forte simplificação na avaliação intracritério, pois assume linearidade da função valor marginal. Embora reduza a taxa de inconsistências quando comparado ao Tradeoff, um procedimento com esse tipo de estrutura, pode limitar a modelagem de preferências do decisor, produzindo o erro chamado de erro de modelagem. O procedimento Tradeoff, no entanto, conduz ao denominado erro de elicitación, devido ao número de comparações par a par com a abordagem de informação

completa, tornando o processo exaustivo para o decisor. Essa questão pode aumentar a taxa de inconsistências apresentada para o método, que já é de 67% de acordos com estudos comportamentais (BORCHERDING *et al.*, 1991).

A informação requerida por parte do decisor no processo de elicitación das constantes de escala pode ser tediosa e consumir muito tempo (SALO; HAMALAINEN, 1992). Outro ponto, é que o decisor nem sempre é capaz de especificar suas preferências no nível de detalhe requerido (WEBER, 1987). Borcherding, Eppel e Von Winterfeldt (1991) reportaram inconsistências, através de estudos comportamentais, com 50% das vezes usando o Swing e, 67% das vezes usando Tradeoff. Com relação ao Tradeoff, Roselli *et al.* (2020) também investigaram as inconsistências relacionadas ao procedimento, os resultados demonstraram um valor similar aos que são apresentados nos estudos de Borcherding, Eppel e Von Winterfeldt (1991).

Tais características tornaram-se a principal motivação para o surgimento de métodos que utilizam informação parcial, os quais buscam estabelecer relações de preferência estrita e também a redução do número de perguntas e do tempo durante o processo de elicitación (SALO; HAMALAINEN, 1992). Dessa forma, com uma informação mais fácil de ser fornecida, há uma expectativa de redução do esforço cognitivo do decisor durante o processo de elicitación, de tal forma que uma redução de inconsistências é esperada (MÁRMOL *et al.*, 2002).

Borges *et al.* (2022) realizaram uma revisão sistemática da literatura sobre métodos multicritérios com informação parcial, classificando os métodos em termos de três cenários importantes: declarações de preferências, formas de obtenção da informação parcial e etapa de síntese. Como exemplo, os autores relatam o software de análise VIP (Parâmetros Independentes Variáveis proposto por Dias e Clímaco (2000), que tem como objetivo reduzir progressivamente o número de alternativas do problema, uma vez que os modelos de programação linear do método modelam informação parcial como restrições sob a forma de limites e desigualdades lineares.

O método PRIME desenvolvido por Salo e Hämäläinen (2001) proporciona que o decisor possa lidar com julgamentos holísticos e o método de elicitación por Tradeoff Interativo e Flexível – FITradeoff, proposto por De Almeida *et al.* (2016) trabalha de forma que é solicitado ao decisor apenas informações de preferência estrita permite a avaliação tanto por elicitación por decomposição quanto por avaliação holística, integrando os dois tipos de paradigmas.

Com relação à modelagem de preferências do decisor, os métodos multicritério no contexto do MAVT podem utilizar de dois paradigmas básicos para modelagem: avaliação

holística (SALO; HÄMÄLÄINEM, 2001) ou elicitação por decomposição (KEENEY; RAIFFA, 1976). De acordo com De Almeida, Frej e Roselli (2021), a elicitação por decomposição geralmente é conduzida no espaço de consequências, dessa forma, o decisor compara as consequências aos pares. Por outro lado, também conforme os autores, avaliação holística é geralmente conduzida no espaço de ação e, também pode ser aplicada para finalizar o processo de decisão ou para adicionar mais informações ao processo de elicitação.

De forma a implementar os métodos de apoio a decisão, Sistemas de Apoio a Decisão (SAD) também foram desenvolvidos e se fazem presentes em aplicações de diversos estudos na literatura. O procedimento Tradeoff e o método FITradeoff, alvos desta pesquisa, realizam a elicitação de preferências do decisor sob o paradigma da elicitação por decomposição e são apoiados por um SAD, ambos estão descritos nos próximos itens. O *download* do SAD do FITradeoff, encontra-se disponível em <http://www.fitradeoff.org> e está disponível para acesso e uso via web em <http://cdsid.org.br/fitradeoff/>.

2.1.2 Procedimento Tradeoff

O procedimento de elicitação por Tradeoff proposto por Keeney e Raiffa (1976), foi desenvolvido no contexto da Teoria do Valor de Multiatributo – MAVT e, uma escala de intervalo é usada onde a maior consequência recebe $v_i(x_{ij}) = 1$ e a menor consequência recebe $v_i(x_{ij}) = 0$ para cada atributo ou critério. O procedimento de elicitação por Tradeoff admite funções de valor lineares e não lineares para as consequências. A função valor global é responsável por indicar a melhor alternativa e faz uma soma ponderada da constante de escala de cada critério (k_i) pela função de valor marginal $v_i(x_{ij})$ de cada consequência, representada conforme a Equação (3):

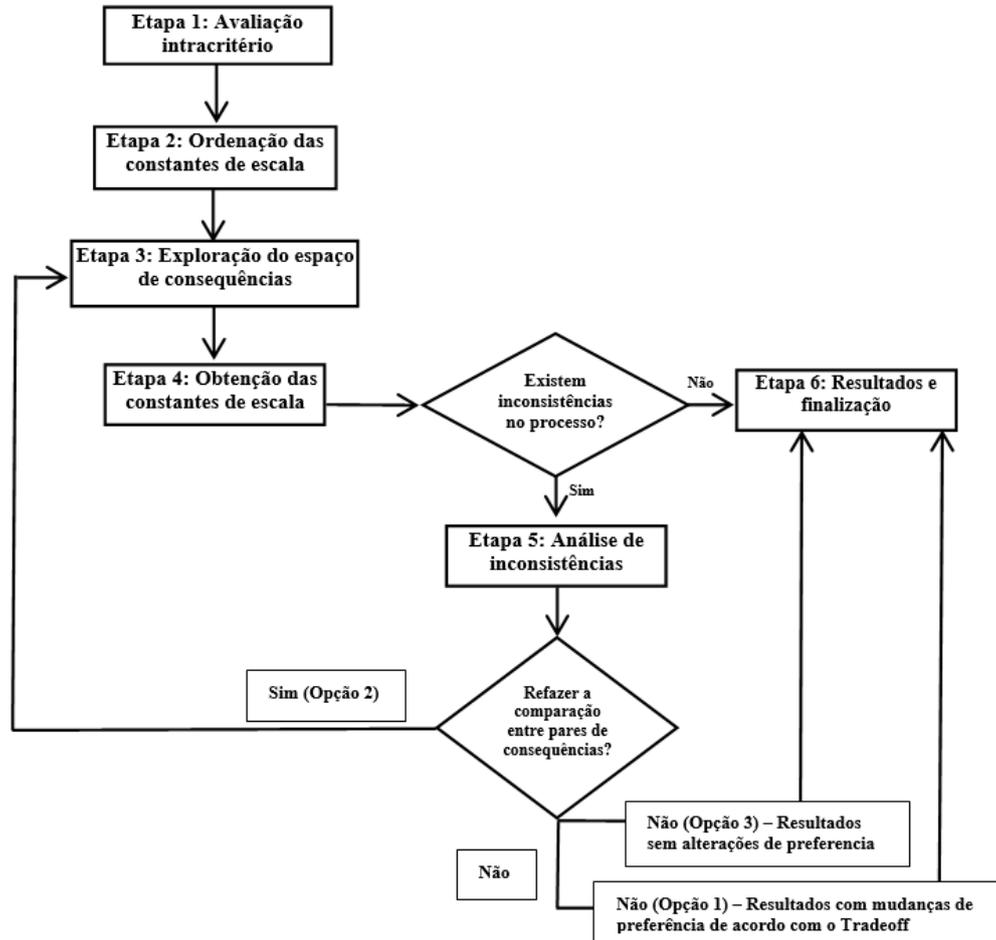
$$v(x_{ij}) = \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_{ij}) \quad (3)$$

O Tradeoff é um procedimento desenvolvido com o objetivo de elicitar de forma completa as constantes de escala e apresenta uma estrutura de elicitação que está relacionada à identificação de pontos de indiferença, ou seja, à definição de um valor exato que expressa igualdade entre dois critérios nas comparações pareadas, durante a elicitação por decomposição (KENNEY; RAIFFA, 1976).

Portanto, exige que o decisor, a cada etapa, no momento de fazer comparação entre as consequências, especifique o ponto exato que o torna indiferente entre as duas consequências. Essa especificação não é uma tarefa simples e pode levar a 67% de inconsistências no processo,

de acordo com estudos comportamentais (BORCHERDING; EPPEL; VONWINTERFELDT, 1991). O processo de elicitacão Tradeoff é ilustrado na Figura 3 com um fluxograma a fim de complementar a descrio deste método.

Figura 3 - Fluxograma das etapas do procedimento Tradeoff



Fonte: Adaptado de Roselli et al. (2020)

A etapa de avaliao intracritério, para o procedimento Tradeoff, foi realizada por meio do método da bisseco, um dos tipos de métodos para elicitacão de funo valor marginal (BELTON; STEWART, 2002). Esse método tem como objetivo encontrar o ponto exato de indiferença para cada critério e foi utilizado no experimento desenvolvido para esta pesquisa devido   estrutura do procedimento Tradeoff. Em seguida, é realizada a etapa de ordenao das constantes de escala dos critérios.

Após a ordenao, são executadas as etapas de explorao do espaço de consequências e elicitacão das constantes de escala. Para essas etapas, comparaoes são realizadas apresentando valores de consequências associadas a critérios adjacentes, seguindo a ordem definida na etapa de ordenao e,   solicitado ao decisor que encontre uma relao de indiferença para todas as comparaoes entre os critérios adjacentes. A avaliao de inconsistências   uma etapa realizada

a partir das informações de preferência, para verificar se o decisor foi consistente durante o processo

No Tradeoff, o decisor precisa sempre identificar um ponto de indiferença para cada par de critério, só assim, o procedimento passa para a próxima comparação. Procedimentos e métodos que trabalham com informação completa, como o Tradeoff, apresentam dificuldades práticas no processo de modelagem de preferências no que diz respeito a fazer *tradeoffs* e a disponibilidade do decisor (BORCHERDING; EPPEL; VON WINTERFELDT, 1991). Diante disso, métodos que trabalham com informação parcial ou incompleta têm sido desenvolvidos no âmbito do Apoio à Decisão Multicritério, como o método FITradeoff, descrito no próximo item.

2.1.3 Método FITradeoff

O método proposto por De Almeida *et al.* (2016) realiza a elicitação por *tradeoff* flexível e interativo que tem como objetivo a elicitação de constantes de escala durante a construção de modelos de decisão no contexto da Teoria do Valor Multi-Atributo (MAVT). A elicitação das constantes de escala é uma etapa crucial durante a construção de tais modelos, uma vez que, obtidos de forma incorreta, geram resultados que não estão de acordo com as preferências do decisor (DE ALMEIDA, 2013). O FITradeoff preserva a estrutura axiomática do Tradeoff, mas requer informação parcial do decisor com relação as suas preferências (DE ALMEIDA *et al.*, 2016).

De acordo com Frej *et al.* (2017), a flexibilidade do método consiste em avaliar sistematicamente a possibilidade de encontrar a solução do problema enquanto o processo de elicitação está sendo conduzido, através de ferramentas disponíveis dentro do SAD, dentre as quais pode-se destacar: visualizações gráficas e a possibilidade de interrupção do processo, caso o decisor deseje. Com relação a interatividade, os autores destacam que o decisor responde às perguntas no próprio SAD, que retorna um conjunto de alternativas potencialmente ótimas a cada interação até que seja encontrada a recomendação final.

O método FITradeoff não necessita de identificação dos pontos de indiferença, as preferências podem ser estritas ou não declaradas ao longo da elicitação por parte do decisor, além disso, o decisor pode escolher por não responder ou por avançar etapas durante o processo de elicitação (DE ALMEIDA *et al.*, 2016). Dessa forma, de acordo com os mesmos autores, o valor exato das constantes de escala não é encontrado, mas um espaço com um range de valores viáveis de constante de escala para cada alternativa de decisão do problema de acordo com a Equação (4):

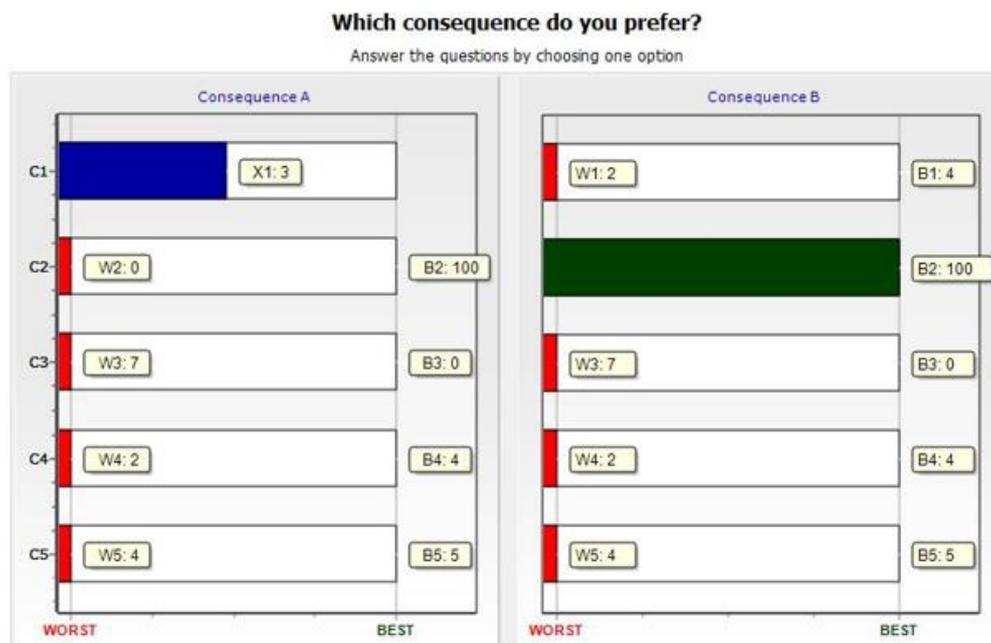
$$\text{Max}_{k_1, k_2, \dots, k_n} \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_{ij}) \quad (4)$$

Onde, k_i é a constante de escala do critério i , e $v_i(x_{ij})$ é a função valor marginal de uma alternativa j para o critério i .

O método FITradeoff é ilustrado por meio de um fluxograma disponível em De Almeida, Frej e Roselli (2021) a fim de complementar a descrição deste método. Vale ressaltar que o método FITradeoff permite que o decisor expresse suas preferências utilizando das duas perspectivas de modelagem de preferências: a elicitacão por decomposio e a avaliao holística. A primeira etapa no FITradeoff é a avaliao intracritério, realizada conforme procedimentos de elicitacão de funo valor para modelos aditivos. Em seguida, é solicitado ao decisor a ordenao das constantes de escala dos critérios.

Prosseguindo com a elicitacão, são realizadas as etapas de explorao do espaço de consequências e elicitacão das constantes de escala dos critérios, onde o decisor expressa suas preferências para comparaes de desempenho entre critérios adjacentes por meio de consequências, a elicitacão por decomposio. Dessa forma, para cada par de critérios adjacentes do ranking da ordenao, compara-se a melhor consequências para o critério pior, com um valor de consequências intermediário para o critério mais bem colocado. A elicitacão por decomposio pode ser observada por meio da Figura 4:

Figura 4 - Elicitaco por decomposio no método FITradeoff



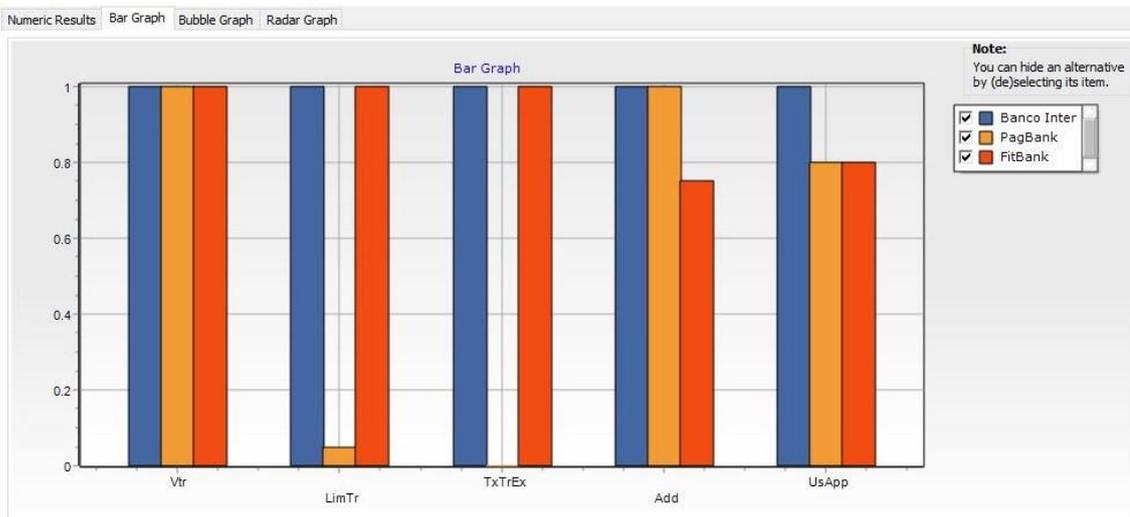
Fonte: A Autora (2021).

Para cada preferências expressa pelo decisor, inequaes são geradas e inseridas em um Problema de Programaco Linear (PPL) como restries. Assim, a cada interao com o

decisor, o PPL é atualizado, permitindo a redução do espaço de constantes de escala, até que a solução seja obtida ou que o decisor deseje interromper o processo (DE ALMEIDA *et al.*, 2016).

Já na avaliação holística, o decisor compara alternativas por meio da visualização gráfica dos resultados parciais obtidos, na tentativa de definir relações de dominância entre elas. As alternativas são ilustradas em diferentes formas de visualização gráfica, permitindo ao decisor a avaliação de todas de uma vez ou de grupos de alternativas ou individualmente e, essa informação preferencial é incluída no PPL e também pode ser utilizada caso o decisor deseje encerrar o processo (DE ALMEIDA; FREJ; ROSELLI, 2021). A Figura 5 ilustra a forma de avaliação holística:

Figura 5 - Avaliação holística no SAD do método FITradeoff



Fonte: A Autora (2021).

O gráfico de barras ilustrado com a Figura 5, é uma das formas de visualização gráfica disponíveis no SAD do método FITradeoff, que possui três formas de representação: Gráficos de Barras, Gráfico Radar e Gráficos de Bolhas. Assim, o decisor pode avaliar as alternativas finais de seu problema e escolher uma delas como solução final, ou seja, caso deseje, o decisor pode utilizar da visualização para escolher a alternativa final e finalizar o processo de elicitación antes que todas as consequências sejam comparadas. Os gráficos da Figura 5, por exemplo, estão apresentando as diferenças de desempenho, em forma de barras verticais, entre 3 alternativas em cada um dos 5 critérios do problema, após uma única pergunta feita na elicitación. Dessa forma, cabe ao decisor avaliar as diferenças de desempenho entre elas para escolher aquela que traga maiores benefícios para a situação enfrentada.

A combinação dos dois paradigmas: elicitación por decomposição e avaliação holística, intensifica o recurso de flexibilidade do FITradeoff, melhora a eficiência desta abordagem ao incorporar mais informações de preferência de um paradigma diferente e, melhora sua consistência, uma vez que o analista pode dar um melhor suporte ao decisor ao aconselhar qual tipo de informação de preferência é mais adequada a cada etapa do processo de decisão (DE ALMEIDA; FREJ; ROSELLI, 2021). Ainda conforme os autores, a avaliação holística permite interromper o processo de elicitación e efetuar uma análise utilizando as visualizações, para decisão final.

O desenvolvimento metodológico do método FITradeoff foi explorado para quatro tipos de problemáticas: FITradeoff para problemática de escolha, desenvolvido inicialmente por de Almeida *et al.*, 2016 e posteriormente desenvolvido com a combinação de dois paradigmas: elicitación por decomposição e avaliação holística, em de Almeida; Frej e Roselli (2021). FITradeoff para problemática de ordenação (FREJ *et al.*, 2019). FITradeoff para problemática de classificação, desenvolvido por Kang *et al.*, 2020. E Frej, Ekel e De Almeida (2021) apresentaram o FITradeoff para problemática de portfólio, aplicando um modelo de relação custo-benefício.

O *download* do SAD do FITradeoff para as problemáticas citadas, encontra-se disponível em <http://www.fitradeoff.org> e está disponível para acesso e uso via web em <http://cidsid.org.br/fitradeoff/>.

2.1.4 Neurociência em Decisão

O processo de tomada de decisão, do ponto de vista biológico, pode ser compreendido como resultado das funções executivas efetivadas pelos mecanismos frontais do cérebro, especificamente, do córtex pré-frontal que atua no recebimento e julgamento de todas as atividades realizadas pelo sistema nervoso (DIMOKA *et al.*, 2010). Nesse sentido, as decisões englobam uma avaliação cautelosa sobre os riscos e benefícios oriundos do processo; considerações de múltiplos atributos e suas probabilidades e aspectos comportamentais vinculados ao processamento neural (DINIZ *et al.*, 2018).

O esforço cognitivo, conforme Boksem e Tops (2008) deve ser avaliado dentro de uma quantidade específica e quantificável de atividade. Esforço cognitivo trata-se da capacidade de variar a profundidade de envolvimento com uma tarefa cognitiva, influenciada por uma série de processos cognitivos fundamentais, incluindo atenção (KAHNEMAN, 1973) e tomada de decisão (TOPLAK, WEST e STANOVICH, 2011; ORTEGA *et al.*, 2015). No domínio cognitivo, o esforço percebido é influenciado pela motivação, vistos em Hopstaken *et al.* (2016)

e, que a motivação é afetada pelo nível de prazer da tarefa, conforme destacado por Boksem e Tops (2008).

Conforme Bafna e Hansen (2021), observa-se uma forte ligação entre os efeitos da fadiga e o engajamento na tarefa. A fadiga é uma construção multifacetada que tem muitas causas diferentes (por exemplo, estresse mental, super-estimulação, tédio) e domínios (por exemplo, mental e físico) e é frequentemente caracterizada por motivação reduzida para atividades de esforço e desempenho prejudicado na tarefa. (HOPSTAKEN *et al.*, 2015). Em indivíduos saudáveis, a fadiga é previsível e transitória e normalmente ocorre como uma reação fisiológica à atividade prolongada e/ou intensa (FINSTERER; ZARROUK, 2013).

Nessa perspectiva, a neurociência tem contribuído para o entendimento da tomada de decisão de uma perspectiva neurofisiológica, a área responsável pelo estudo sobre a tomada de decisão é denominada Neurociência em Decisão e, possui o intuito de compreender as estruturas e mecanismos implícitos da atividade cerebral, relacionadas ao processo decisório (SMITH; HUETTEL, 2010; DIMOKA *et al.*, 2010). Isto é, busca-se por meio da utilização de equipamentos de neurociência, estudar os processos cognitivos do cérebro humano, bem como as estruturas neurais associadas a tomada de decisão (GLIMCHER; FEHR, 2014).

Os métodos neurofisiológicos utilizados nos estudos sobre o processo cognitivo são principalmente: o Eye-Tracking – instrumento utilizado para rastreamento ocular, técnicas para registro da atividade elétrica cerebral, como o Eletroencefalograma – EEG e instrumentos de imagem, como a Ressonância Magnética Funcional – fMRI, (DIMOKA *et al.*, 2010). As ferramentas da neurociência, complementam resultados de estudos em tomada de decisão. Esses estudos, por sua singularidade, podem oferecer ideias para pesquisadores que atuam na área, na medida em que integram processos cognitivos com suas bases neurais (HOPSTAKEN *et al.*, 2016)

O Eletroencefalograma (EEG) é uma técnica econômica e não invasiva que quantifica diretamente os campos elétricos do cérebro em locais do couro cabeludo com resolução temporal de milissegundos (DONG *et al.*, 2018) sendo a unidade de medida do potencial elétrico dada em microvolts. O EEG possui um custo de aquisição, uso e manutenção relativamente baixos, quando comparado a outras ferramentas de neurociência como a Ressonância Magnética Funcional (fMRI) e essa característica tem permitido maior acessibilidade à pesquisa (LIN *et al.*, 2018).

Os potenciais elétricos coletados com o EEG podem ser quantificados e classificados em cinco bandas de diferentes frequências, os limites ou ranges das bandas de frequências (dados em Hz) variam na literatura científica, conforme Pizzagalli (2007), será definido: Delta EEG

(1-4 Hz), Theta EEG (4-8 Hz), Alpha EEG (8-13 Hz), Beta EEG (13-30 Hz) e Gama EEG (30-40 Hz). Cada banda de frequência está associada a um estado mental, conforme apresentado no Quadro 1:

Quadro 1 - Definição do estado mental associado a cada banda de frequência

Banda de frequência	Estado mental associado
Delta	Sono profundo e inconsciência em humanos saudáveis
Theta	Meditação e sonolência
Alpha	Indicam estados de vigília relaxada em adultos saudáveis
Beta	Concentração ativa, envolvimento em tarefas, atenção e/ou vigilância
Gama	Excitação, desempenho máximo de atividades mentais

Fonte: Adaptado de Müller-Putz et al. (2015)

Para esta pesquisa, apenas as bandas Alpha, Beta e Theta foram investigadas, por refletirem estados mentais/comportamentos que são de interesse para estudo de neurociência e decisão multicritério, conforme Müller-Putz *et al.* (2015).

Para Alpha, estudos realizados por Hilm (2009) e Macdonald *et al.* (2011), correlacionam a redução da potência de Alpha, na área parietal posterior do cérebro, a uma indicação de maior atividade mental e engajamento. Além disso, há evidências de que essa banda está negativamente correlacionada com o esforço cognitivo (MULLER-PUTZ *et al.*, 2015) e geralmente está relacionada ao relaxamento e estado de alerta (EVANS; ABARBANEL, 1999). Conforme Angelakis *et al.*, (2017), no range entre 8-13 Hz são ativadas as funções executivas e de melhor desempenho cognitivo. As regiões frontais do cérebro na frequência Alpha, estão relacionadas à motivação e ao engajamento (DAVIDSON *et al.*, 1990).

Com base nos estudos de Klimesch *et al.* (2005), Holm (2009) e Waschera *et al.* (2014), relata-se que um valor de potência mais alto em Theta, pode sugerir uma maior dificuldade na realização de operações mentais e um maior grau de complexidade ou esforço cognitivo. Na literatura, há evidências de uma correlação negativa entre a potência da banda Theta nos canais P7 e P8 com o esforço cognitivo (KLIMESCH, 1999; FISCHER *et al.*, 2018).

Theta está relacionada à fadiga em atividades com um alto grau de complexidade, de acordo com estudos de Klimesch, (1999); Waschera *et al.* (2014). Há evidências na literatura que indicam a relação do crescimento na ativação Theta com baixo engajamento, identificado em pesquisas realizadas por Hermens *et al.* (2005); Lin *et al.* (2016); Fischer *et al.* (2018) e, uma correlação negativa com o esforço cognitivo (MULLER-PUTZ *et al.*, 2015).

Gevins e Smith (2007) indicam que o esforço de atenção está relacionado à atividade de alta frequência na banda Beta, ou seja, de alto processamento cognitivo. A banda Beta está positivamente correlacionada com a potência nos canais frontais, diretamente ligados ao processo de tomada de decisão e outros processos complexos (VAN DER LINDEN *et al.*, 2003; ZHAO; SIAU, 2018).

Algumas conjunturas envolvendo o processo de tomada de decisão e a neurociência, são objetos de pesquisa atualmente registrado em periódicos da área, conforme relatados a seguir. Julgamentos econômicos e com aspectos probabilísticos (LINDE; VIS, 2016); decisões sobre o processamento informacional (RIEDL; DAVIS; HEVNER 2014; NAKAMURA, 2021); decisões associadas ao gerenciamento organizacional (ROBERTSON; VOEGTLIN; MAAK, 2017); a codificação de recompensas e custos em diferentes regiões do cérebro (HUNT, 2021); correlatos eletroquímicos durante a tomada de decisão arriscada e ambígua (ZHENG *et al.*, 2021); processos cognitivos na perspectiva do *neuromarketing* (BARBOSA *et al.*, 2021).

A compreensão do processo de avaliação de alternativas no cérebro, sem abordagens multicritério, mas por meio da valoração, foi pergunta da pesquisa de Massar *et al.* (2016) e Lopes-Persem *et al.* (2020). No que se refere a contribuição acerca da compreensão do processo de tomada de decisão no cérebro com base na teoria dos jogos, Ma *et al.* (2015) e Sun *et al.* (2019) desenvolveram trabalhos nessa perspectiva. Denota-se que esse campo científico oferta múltiplas abordagens para mensurar a atividade neural do indivíduo, expressa por diferentes áreas do cérebro, isto é, busca-se através da utilização de equipamentos neurofisiológicos investigar o processamento cognitivo do decisor, bem como os constructos neurais relacionados a cognição humana no que diz respeito, nesta investigação, a tomada de decisão (GLIMCHER; FEHR, 2014).

A literatura destaca um promissor avanço nas pesquisas em neurociência em decisão devido a ênfase depositada por diversos pesquisadores dessa área científica. De acordo com Linkov *et al.* (2012) ao desenvolver estudos com projeções de grande crescimento que remete à popularização dos métodos neurocientíficos e à oportunidade de obter importantes *insights* sobre mecanismos relacionados às preferências de decisão, bem como aspectos econômicos e sociais que não são viáveis de inferência com os tradicionais ferramentas e técnicas de pesquisa (KAHNEMAN, 2013). Com relação ao uso da Neurociência para investigar o comportamento de decisores quando estes estão frente a problemas MCDM/A, a fundamentação teórica é abordada no próximo item.

2.1.4.1 Neurociência em Decisão Multicritério

Conforme De Almeida (2013), uma característica fundamental de um problema de decisão multicritério, é a presença de um decisor. Esse decisor possui um julgamento de valores que será utilizado no processo decisório para escolher, ordenar ou classificar as alternativas, de acordo com sua estrutura de preferências, considerando o compromisso entre os múltiplos objetivos envolvidos (BELTON; STEWART, 2002). Conforme Kahneman (2013), julgamentos são medições, a mente humana é imperfeita e sempre que existir julgamento, existirá ruído e, por vezes, vieses.

Uma das principais vantagens das ferramentas da abordagem de Neurociência em Decisão, é o gerenciamento de dados fora do controle do participante durante um determinado experimento, tornando os dados mais confiáveis e livres de vieses. No entanto, esses dados devem ser complementares sempre que ferramentas e técnicas tradicionais não forem suficientes para a compreensão de questões de pesquisa levantadas (DIMOKA *et al.*, 2012; DA SILVA; COSTA; DE ALMEIDA, 2021).

Com a finalidade de superar as divergências atreladas à modelagem dos métodos para resolução de problemas de decisão multicritério, a abordagem da Neurociência em Decisão tem alcançado um expressivo progresso, nos últimos anos, incorporando os equipamentos de neurociência para a obtenção de registros temporais, diretamente do cérebro, de medidas fisiológicas que podem estar associadas aos processos cognitivos dos seres humanos (MAGEN *et al.*, 2014; HAKIMI; HARE, 2015; MASSAR *et al.*, 2016). Essa integração é de extrema importância para que modelos de tomada de decisão que representem de fato o comportamento dos decisores sejam construídos, incorporando aspectos subjetivos também ao processo (ROSELLI; FREJ; ALMEIDA, 2018b).

Esforço cognitivo trata-se da capacidade de variar a profundidade de envolvimento com uma tarefa cognitiva, influenciada por uma série de processos cognitivos fundamentais, incluindo atenção (KAHNEMAN, 1973) e tomada de decisão (TOPLAK; WEST; STANOVICH, 2011; ORTEGA *et al.*, 2015). Mensurar variáveis psicofisiológicas do decisor, a partir de ferramentas de neurociência, permitem que as preferências do decisor sejam melhor identificadas, bem como as previsões de comportamento (LINKOV *et al.*, 2012).

Com relação ao uso da Neurociência para investigar o comportamento de decisores quando estes estão frente a problemas MCDM/A, ainda não se observa uma extensa literatura acerca desta abordagem com a área de tomada de decisão multicritério (ROSELLI; FREJ;

ALMEIDA, 2018a). Apesar disso, estudos promissores têm sido desenvolvidos, como os desenvolvidos por Khushaba *et al.* (2013) e Van *et al.* (2016).

Com base em estudos comportamentais com o auxílio das ferramentas da neurociência, Almeida e Roselli (2017), Roselli e Almeida (2017), Roselli, Frej e De Almeida (2017), Roselli, Frej e De Almeida (2018a; 2018b), Roselli, De Almeida e Frej (2019), Roselli *et al.* (2020), Da Silva, Costa e De Almeida (2021), têm explorado os aspectos cognitivos e do decisor durante procedimento de elicitación, além de estudar melhorias no sistema de apoio à decisão do método FITradeoff. A abordagem desses trabalhos será especificada no tópico de revisão bibliográfica. A seguir, serão apresentadas algumas análises que podem ser realizadas a partir de dados neurofisiológicos coletados com ferramentas da neurociência em decisão a partir de experimentos comportamentais em decisão.

2.1.5 Análises realizadas a partir de dados neurofisiológicos obtidos com EEG

O esforço cognitivo e o engajamento dos participantes durante a elicitación das constantes de escala com o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff serão avaliados nesta pesquisa a partir de três análises:

- 1) Análise com os valores de potência nas bandas de frequência Alpha, Theta e Beta.

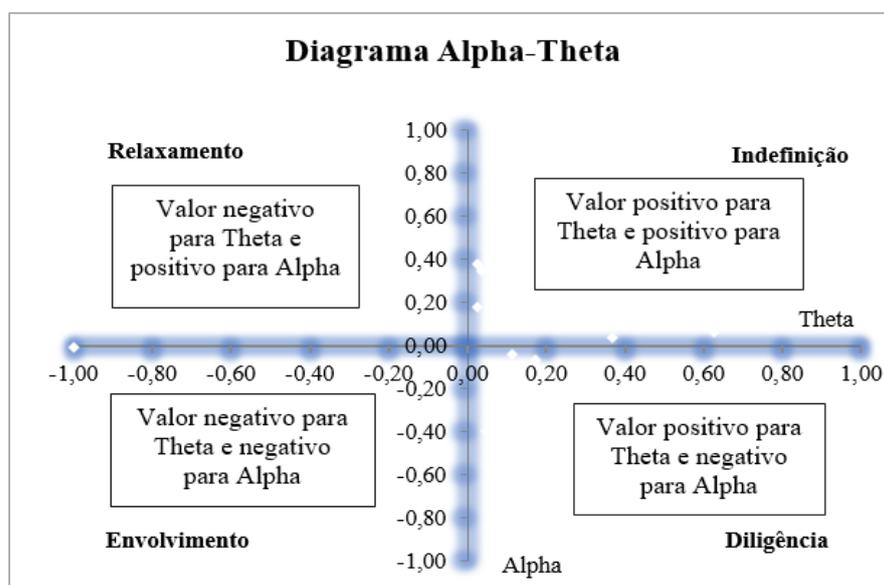
Para alcançar o objetivo geral deste trabalho, as variáveis neurofisiológicas da atividade cerebral consideradas foram a potência das bandas de frequência (Theta, Alpha e Beta). Sendo Theta EEG (4-8 Hz), Alpha EEG (8-13 Hz) e Beta EEG (13-30 Hz), a definição dos valores de range das frequências foram definidos com base em Pizzagalli (2007). A definição das bandas de frequência se dá devido a correlação que cada banda de frequência tem com aspectos cognitivos relacionados ao processo decisório (MULLER-PUTZ *et al.*, 2015). A especificação da correlação das bandas de frequência com aspectos cognitivos comportamentais associados a processos decisórios foi relatada anteriormente no tópico 2.1.4.

- 2) Diagrama Alpha Theta

De acordo com estudos desenvolvidos por de Roselli e De Almeida (2022), uma análise foi desenvolvida combinando os valores de potência nas bandas de frequência Theta e Alpha, permitindo assim, a criação do Diagrama de quadrantes Alpha-Theta ou Diagrama Alpha-Theta. Este diagrama apresenta no eixo *x* os valores de Theta, para o canal F3 e, no eixo *y*, os valores de Alpha, para o canal P7. A análise do Diagrama Alpha-Theta permite classificar o comportamento dos participantes durante o processo decisório, a partir dos valores de potência da banda Alpha no canal P7 e, dos valores da banda Theta no canal F3.

Para construção do Diagrama, os valores de potência foram normalizados, sendo (-1) o valor mínimo e (1), o valor máximo. Essa normalização é executada para que os valores de potência sejam apresentados em uma mesma escala. No contexto desta pesquisa, essa classificação foi aplicada para analisar padrões de comportamento dos participantes para cada etapa do procedimento Tradeoff e do método FITradeoff. Os padrões de comportamentos identificados são quatro: Relaxamento, Indefinição, Envolvimento e Diligência, representados em cada um dos quadrantes, conforme Figura 6.

Figura 6 – Definição dos quadrantes no Diagrama de Quadrantes Alpha-Theta



Fonte: A Autora (2021).

O quadrante superior esquerdo ilustra o comportamento nomeado como Relaxamento, caracterizado por baixo esforço cognitivo do participante (apresenta valor negativo para Theta) e, decréscimo do engajamento (valor positivo para Alpha). O quadrante superior direito apresenta o comportamento nomeado como Indefinição, esse padrão ocorre quando se têm valores de potência positivo para Theta, o que representa um alto esforço cognitivo e, um baixo engajamento, com valores de potência positivo para Alpha.

O quadrante inferior esquerdo apresenta o comportamento nomeado como Envolvimento, caracterizado por um baixo esforço cognitivo, tendo valor de potência negativo para Theta, e alto engajamento, valor negativo para Alpha. Por fim, o quadrante inferior direito representa o comportamento nomeado como Diligência, sendo este padrão observado quando se têm valor positivo para Theta, representando um alto esforço cognitivo e, valor negativo para Alpha devido ao engajamento do participante.

3) Índice de engajamento POPE

O índice de engajamento POPE ou *POPE Index*, foi introduzido por Pope *et al.* (1995), com o objetivo de mensurar o grau de envolvimento na tarefa determinado com base nos dados de EEG. Diversos pesquisadores tem abordado em seus estudos dados deste índice, sendo alguns deles: McMahan *et al.* (2015); Calvert (2019); Demazure *et al.* (2019) e Wu *et al.* (2021). O Pope *Index* (PI) é calculado através da Equação (5):

$$POPE\ Index = \frac{Beta}{(Alpha+Theta)} \quad (5)$$

Dessa forma, os valores de Beta, Alpha e Theta são extraídos em forma de matriz de potência a partir do procedimento de Darbeliai, disponível no EEGLAB. Da coleta dos dados neurofisiológicos captados pelo EEG, os dados apresentam uma taxa de amostragem de 128Hz por canal, com resolução temporal de milissegundos (DONG *et al.*, 2018) sendo a unidade de medida do potencial elétrico dada em microvolts. Dado que as bandas estão associadas a estados de atenção e viglância, conforme este índice POPE pode ser tratado com um índice de engajamento cognitivo (HERMENS *et al.*, 2005; LIN *et al.*, 2016; FISCHER *et al.*, 2018; WASCHERA *et al.*, 2014).

Para o desenvolvimento desta pesquisa serão considerados os dados captados por todos os canais disponíveis no EEG utilizado, conforme estudos recentes como McMahan *et al.* (2015) e Wu *et al.* (2021), também utilizaram os canais AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, P7, P8, T7, T8, O1 e O2. Esses mesmos autores utilizaram a média, para encontrar a potência combinada de todos os canais, o mesmo procedimento foi realizado nesta pesquisa.

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme discutido no Capítulo I, aspectos comportamentais é um tópico relevante para o avanço de pesquisas em Decisão Multicritério. Dessa forma, este item de revisão bibliográfica foi elaborado com o objetivo de explorar estudos que fazem uma aplicação com o método FITradeoff, estudos que abordam a questão dos aspectos comportamentais dentro do contexto MCDM/A utilizando ferramentas de Neurociência para avaliar o procedimento Tradeoff e o Método FITradeoff e, em seguida, especificamente estudos da área de Neurociência em Decisão que utilizaram o EEG. A revisão foi dividida em duas seções: aplicações com o procedimento Tradeoff e com o método FITradeoff; uso da abordagem de Neurociência para investigação do processo decisório e do processo decisório com o EEG.

2.2.1 Aplicações com o método FITradeoff e estudos comportamentais com o procedimento Tradeoff

O método FITradeoff (DE ALMEIDA *et al.*, 2016) tem sido aplicado em muitas situações de decisões práticas. Diversos estudos têm se dedicado ao desenvolvimento de modelos para a solução desse tipo de problema, com avanços significativos. A literatura apresenta algumas aplicações do uso do método, de modo a alcançar melhores recomendações, a exemplo do estudo realizado em Monte e Morais (2019), que discute as questões ambientais relacionadas sobre abastecimento de água, o trabalho de Frej *et al.* (2017), que traz a abordagem do tema de seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos, na mesma perspectiva Dell'Ovo *et al.* (2017), que aborda o uso do método para a seleção de localização dos estabelecimentos de saúde.

Pergher *et al.* (2020), realizou um estudo que considera a melhor combinação de decisões de programação, essas decisões estão relacionadas à atribuição de uma data de vencimento, liberação de uma ordem e despacho prioritário. Outra aplicação do método FITradeoff foi para selecionar um pacote tecnológico de agricultura que melhor atendesse às preferências de um agricultor na região nordeste do México (ÁLVAREZ-CARRILLO *et al.*, 2018).

A escolha de fornecedores para equipamentos laboratoriais de uma empresa de pesquisa agropecuária na Colômbia, foi abordada por Rodrigues, De Almeida e Kang (2017). Macedo, Mota e Sola (2018) propõem uma avaliação elaboraram uma análise de desempenho energético para avaliar os benefícios da utilização de uma ferramenta de decisão multicritério para resolver o problema de substituição de motores não eficientes, atendendo à Lei Brasileira de Eficiência Energética.

Carrillo *et al.* (2018) utilizaram o método FITradeoff para selecionar melhores tecnologias para o setor agrícola. E na área de energia para selecionar o melhor tipo de energia renovável para o Brasil (FOSSILE *et al.*, 2020), assim como para avaliar a melhor tecnologia para a geração de energia elétrica (KANG *et al.*, 2018). Da perspectiva social, o método também foi utilizado para a ordenação das operações especiais da Polícia Federal do Brasil (CUNHA *et al.*, 2019). Na área da saúde, o método já foi utilizado para avaliar protocolos de triagem do sistema de saúde da cidade de Natal – Brasil (CAMILO *et al.*, 2020).

Com relação ao Tradeoff, observa-se que o procedimento é utilizado para elicitación das constantes de escala no contexto de modelos aditivos e objeto de estudos comportamentais descritos na literatura (BORCHERDING; EPPEL; VON WINTERFELDT, 1991). Roselli *et al.* (2020) realizaram um experimento a fim de avaliar o comportamento do decisor na elicitación com o procedimento Tradeoff no que se refere ao esforço cognitivo e engajamento, além de

explorar a inconsistência durante o processo. Andrade e Morais (2020) avaliam o perfil de atividade cerebral de um decisor no contexto da elicitacão com o procedimento Tradeoff.

2.2.2 Estudos com uso da abordagem de Neurociência para investigação do processo decisório.

O campo da neurociência em decisão tem se desenvolvido ao longo dos últimos anos, permitindo, então, realizar a integrao de ferramentas da neurociência, a exemplo do EEG e *Eye-tracking*, para a aquisio dos dados diretamente do cérebro e medidas fisiológicas que podem ser correlacionados a aspectos cognitivos (MASSAR *et al.*, 2016). Conforme Eagleman (2015), a Neurociência pode ser utilizada como ferramenta de apoio com a finalidade de promover maior entendimento sobre o comportamento dos decisores durante o processo decisório.

O trabalho de Van *et al.* (2016) que se voltaram para a análise do processamento cognitivo subjacente às estratégias compensatórias e não compensatórias em problemas de decisão multicritério. Com base em estudos comportamentais ao realizar a tomada de decisão com métodos multicritério e o auxílio das ferramentas da neurociência, De Almeida e Roselli (2017), Roselli e Almeida (2017), avaliaram, a partir de dados do Eye-tracking, a influência da visualizao gráfica para apoio  Decisão no método FITradeoff.

Para compreender o processo de avaliao de alternativas no cérebro usando procedimentos e métodos de decisão multicritério, diversos autores implementaram em suas pesquisas, o apoio das ferramentas de Neurociência. Roselli, Frej e De Almeida (2017) e Da Silva, Costa e De Almeida *al.* (2021), têm explorado os aspectos cognitivos e do decisor durante o procedimento de elicitacão, além de estudar melhorias no sistema de apoio  decisão do método FITradeoff.

Nessa perspectiva, Roselli, Frej e De Almeida (2018a; 2018b) realizaram experimentos de neurociência, a fim de investigar o comportamento dos decisores nas categorias de visualizaes gráficas, disponíveis no SAD do FITradeoff. Os autores exploraram as variáveis do diâmetro da pupila e da durao da fixao, coletadas por *Eye-tracking*.

Com apoio do equipamento Eye-Tracking, Khushaba *et al.* (2013) investigaram como consumidores avaliavam biscoitos com base em três critérios, sendo eles: forma, sabor e cobertura. Em da Silva, Costa e De Almeida (2021)  possível verificar análises referentes aos aspectos cognitivos, a exemplo de esforço e engajamento, quanto os decisores aplicam seus próprios problemas de decisão no SAD do FITradeoff, verificando se pode ocorrer uma maior demanda cognitiva do decisor durante a elicitacão flexível.

De Almeida, Frej e Roselli (2021), abordaram em seu estudo, a questão da flexibilidade no FITradeoff para modelagem de preferência, ao integrar e combinar dois paradigmas: avaliações holísticas e elicitação por decomposição, que surgem em conjunto com o uso de ferramentas da neurociência. Os resultados apoiam mudanças no design do Sistema de Apoio à Decisão e também a melhoria do processo de decisão ao apoiar a forma como o analista pode interagir com o decisor.

As bandas Theta e Alpha foram investigadas com base nos estudos de Klimesch *et al.* (2005), Macdonald *et al.* (2011), Waschera *et al.* (2014) e Loof *et al.* (2019), os quais sugeriram que um valor mais alto em Theta, nos canais frontais, pode sugerir uma maior dificuldade nas operações mentais e um maior grau de complexidade. E que a redução dos valores Alpha na região parietal posterior pode ser uma indicação de atividade mental e engajamento.

Com relação ao uso da Neurociência para investigar o comportamento de decisores quando estes estão frente a problemas MCDM/A, ainda não se observa uma extensa literatura acerca desta abordagem com a área de tomada de decisão multicritério (ROSELLI; FREJ; ALMEIDA, 2018a). Apesar disso, estudos promissores têm sido desenvolvidos com apoio de um EEG para coleta de dados.

Com a aplicação do método Analytic Hierarchy Process (SAATY, 1980), Nermend (2017) desenvolveu um experimento onde um problema MCDM/A de seleção de carros, com seis alternativas e seis critérios, foi apresentado. Neste experimento, um sistema web foi projetado para que as etapas de resolução do problema fossem executadas. O eletroencefalograma (EEG), foi utilizado para coletar as variáveis fisiológicas, sendo possível observar a presença de emoção quando os participantes desenvolveram as comparações das consequências.

Van *et al.* (2016), Khushaba *et al.* (2013) buscaram compreender o processo de avaliação de alternativas no cérebro usando procedimentos multicritério. Estudos comportamentais com o auxílio das ferramentas da neurociência, como o EEG e/ou o rastreamento ocular com Eye-tracking, tem sido amplamente explorado por Almeida e Roselli (2017), Roselli e Almeida (2017), Roselli, Frej e De Almeida (2017), Roselli, Frej e De Almeida (2018), Roselli *et al.* (2020), Da Silva, Costa e De Almeida (2021), abordam em sua pesquisa os aspectos cognitivos e do decisor durante procedimento de elicitação, além de estudar melhorias no sistema de apoio à decisão do método FITradeoff.

Nesse sentido, Khushaba *et al.* (2013); Ma *et al.* (2015); Sun *et al.* (2019); Lopez-Persem *et al.* (2020); Roselli *et al.* (2020) pesquisam aspectos relacionados ao esforço cognitivo, de

engajamento, relaxamento e envolvimento sobre um estímulo a partir de dados de potências cerebrais em todos os canais para cada uma das bandas de frequência Alpha, Beta e Theta.

No estudo de da Silva, Costa e De Almeida (2021) foram realizadas análises referentes aos aspectos cognitivos, a exemplo de esforço e engajamento, quanto os decisores aplicam seus próprios problemas de decisão no SAD do FITradeoff. Com o auxílio das ferramentas EEG e Eye-tracking, eles avaliaram variáveis da potência para cada canal, nas bandas de frequência Theta, Alpha e Beta e os dados do tempo médio de resposta, verificando se pode ocorrer uma maior demanda cognitiva do decisor durante a elicitación flexível.

Gê, Roselli e De Almeida (2021) a partir de resultados gerados por experimentos comportamentais em decisão com o apoio de ferramentas da abordagem de Neurociência em Decisão, avaliaram o esforço cognitivo através dos dados neurofisiológicos correlacionados com esforço mental. Esses dados foram coletados através dos sinais do Eletroencefalograma (EEG) para as bandas de frequência Alpha e Theta, os resultados podem indicar um aumento do engajamento e uma redução do esforço cognitivo ao realizar a elicitación com o método FITradeoff.

2.3 SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTE TRABALHO

Devido à abordagem multidisciplinar, a Neurociência faz parte de estudos em diversas áreas de pesquisa. Grande parte dos trabalhos desenvolvidas com a abordagem de Neurociência apresenta sua aplicação na área da saúde, avaliando o sistema nervoso e correlações neurais para entender as doenças e limitações que o acometem, esse dado pode ser observado ao coletar informações na plataforma *Web of Science*, onde se tem mais de 200 periódicos relacionados ao tema. Com relação ao processo de tomada de decisão, alguns trabalhos encontrados na literatura abordam o processo de tomada de decisão econômica.

Além das ciências comportamentais, a neurociência e, portanto, os métodos neuroeconômicos se concentram em explorar a natureza das expectativas e anomalias de decisão. Em problemas MCDM/A que necessitam de uma maior estruturação há uma preocupação quanto a certos fatores necessários para a aplicação do processo, a exemplo das preferências e da racionalidade do decisor, da quantidade de alternativas e da não redundância e quantidade de critérios (DE ALMEIDA, 2013). A má utilização desses fatores pode demandar mais esforço cognitivo, tempo e informações por parte do decisor, podendo ocasionar inconsistências nos resultados e insatisfação do usuário ao utilizar o método (BORCHERDING; EPPEL; VON WINTERFELDT, 1991).

Essas abordagens foram relatadas no referencial teórico e na revisão de literatura desta pesquisa. Para identificar e examinar tais artigos publicados na literatura a respeito do tema estudado, foi feita a definição da base de pesquisa, sendo a *Web of Science*, visto que se trata de uma fonte cientificamente relevante e que abrange diversas áreas de conhecimento. Para estratégia de pesquisa, as palavras-chave utilizadas foram: TS = ((“MCDA” OR “MCDM” OR “MCDA/M” OR “MCDM/A” OR “Multiattribute” OR “Multi-Criteria Decision-Making”) AND (“Neuroscience” OR “Neurodecision”) AND (“Cognitive Effort”) AND (“FITradeoff”).

A partir da análise do estado da arte dos estudos sobre o uso de Neurociência para investigação de processos decisórios com métodos multicritério, ainda não se observa uma extensa literatura acerca desta abordagem com a área de tomada de decisão multicritério (ROSELLI; FREJ; ALMEIDA, 2018a). Wallenius e Wallenius (2020) discorrem sobre a carência de pesquisas sobre o comportamento e atitudes no processo de decisão multicritério e relata que ainda hoje têm-se poucos estudos que discutem o comportamento do decisor ao utilizar um Sistema de Apoio à Decisão, embora estudos promissores têm sido desenvolvidos.

No entanto, devido a diversidade de possibilidades de aplicação com o FITradeoff, surge a necessidade de investigar a interação do decisor com o SAD desenvolvido para o método, visto que pode tornar o sistema adequado para uso, gerando recomendações de decisão mais assertivas e possibilitando a disseminação de SADs para apoio a decisão multicritério em âmbitos empresariais (DE ALMEIDA; FREJ; ROSELLI, 2021).

Nesse contexto, a contribuição adicional deste trabalho relaciona-se ao estudo do efeito do esforço cognitivo e do engajamento de decisores ao realizar a elicitação de preferências por meio da abordagem de elicitação por decomposição com o SAD do método FITradeoff em comparação com o uso do SAD do procedimento Tradeoff, por meio do auxílio das ferramentas de Neurociência. Além de avaliar os dados neurofisiológicos entre etapas similares ao FITradeoff e o Tradeoff, também serão avaliados os dados durante o processo decisório para etapas adjacentes do FITradeoff e do Tradeoff, respectivamente. Dessa forma, busca-se propor melhorias para o apoio à decisão multicritério no contexto de modelos aditivos e de racionalidade compensatória a partir da identificação de aspectos comportamentais e do melhor entendimento do comportamento dos decisores.

O próximo item, o Capítulo 3, trata dos experimentos comportamentais realizados para investigação da elicitação por decomposição e apresenta detalhes dos experimentos os quais os dados para esta pesquisa foram fornecidos como fonte secundária a fim de atingir o objetivo desta pesquisa.

3 EXPERIMENTOS PARA INVESTIGAÇÃO DA ELICITAÇÃO POR DECOMPOSIÇÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados de dois experimentos comportamentais em decisão, dos quais os dados foram fornecidos à esta pesquisa como fonte secundária. Para resolução dos problemas de decisão, os métodos aplicados permitem que o decisor expresse suas preferências utilizando uma das perspectivas de modelagem de preferências: a elicitação por decomposição. O primeiro experimento foi realizado com o SAD do procedimento Tradeoff e o segundo, com o SAD do método FITradeoff, ambos desenvolvidos para fins de pesquisa no laboratório CDSID (*Center for Decision Systems and Information Development*) da UFPE. No início do capítulo, é feita a apresentação das características gerais dos experimentos, tais como os procedimentos para execução dos experimentos, os equipamentos utilizados e as variáveis de estudo. Em seguida, são apresentadas as especificações de cada experimento, tais como as amostras consideradas, a estrutura do SAD e o desenho experimental. Por fim, a comparação entre os dois experimentos, relatando em que etapas se concentram as análises desta pesquisa.

3.1 EXPERIMENTOS PRÉVIOS DESENVOLVIDOS

A seguir, a apresentação e discussão das características presentes nos dois experimentos realizados.

3.1.1 Procedimento de execução dos experimentos

Todos os experimentos foram realizados no laboratório *NeuroScience for Information and Decision* (NSID) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) (<http://cdsid.org.br/nsid/>). Os experimentos foram aplicados em dois momentos distintos: primeiro, os participantes realizaram o experimento com o SAD do procedimento Tradeoff desenvolvido por Roselli *et al.* (2020). Após 6 meses, os mesmos participantes participaram do experimento utilizando o SAD do método FITradeoff, conforme apresentado em da Silva, Costa e De Almeida (2021).

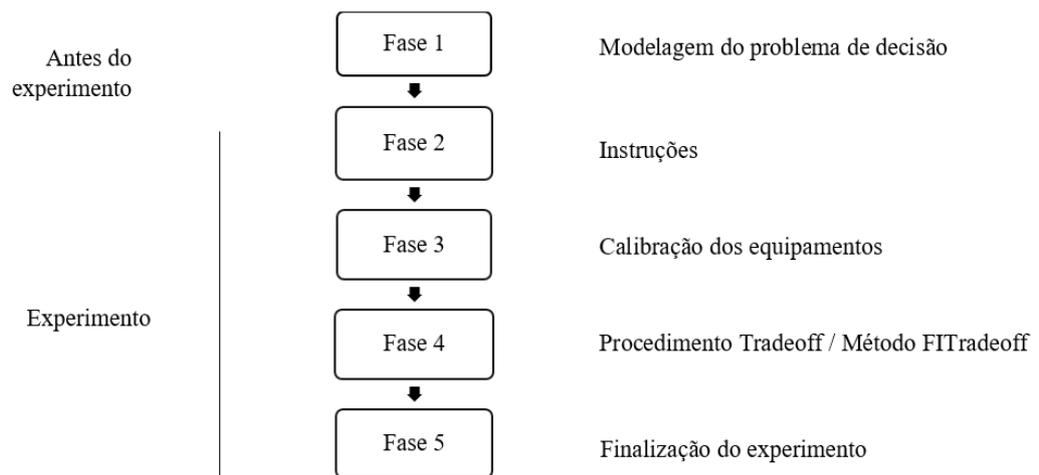
Cada participante desenvolveu um problema de decisão de seu interesse, sendo essa a Fase 1 da sequência de execução dos experimentos. Vale ressaltar que a prática se trata de um diferencial em relação a outros estudos que utilizam ferramentas da neurociência, pois nesses experimentos cada participante avalia o seu próprio problema, o que pode estimular o

compromisso e engajamento. Nenhum participante apresentou problemas que afetassem adversamente a condução do experimento, sejam oculares ou mentais.

A Fase 2, é o momento em que todos os participantes receberam instruções sobre o experimento e assinaram do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), documento que garante a proteção dos dados do participante no projeto de pesquisa, que obteve aprovação prévia junto ao Comitê de Ética da UFPE (CAAE - 69253017.0.0000.5208). Na Fase 3, os equipamentos foram calibrados e novas instruções foram dadas aos participantes.

A partir desse momento, os participantes navegam o SAD correspondente para cada experimento e forneceram informações sobre suas preferências até que fosse encontrada uma solução satisfatória para o problema de decisão, correspondendo a Fase 4. Por fim, na Fase 5, os participantes responderam a um questionário sobre sua experiência com os SADs. A sequência de etapas dos experimentos, é ilustrada através da Figura 7.

Figura 7 - Sequência dos experimentos



Fonte: A Autora (2021).

Devido as suas características e etapas, conforme descritas anteriormente, a execução de um experimento com ferramentas de neurociências é bastante complexo, pois envolve a preparação do participante, a calibração dos equipamentos, o tratamento e a compreensão dos dados captados. A seguir, serão dispostos algumas das questões envolvendo equipamentos, captação, tratamento e compreensão dos dados.

3.1.2 Equipamentos e Materiais

No que se refere à coleta de dados, a ferramenta de neurociência que possibilitou a coleta dos dados neurofisiológicos durante os experimentos, foi o equipamento Eletroencefalograma (EEG) Emotiv Epoc de 14 canais. Os equipamentos utilizados no experimento foram dispostos e padronizados conforme ilustra a Figura 8, onde 1: indica o *layout* inicial do SAD do Tradeoff, 2: indica o equipamento Eye-tracking e 3: indica o equipamento de eletroencefalografia (EEG).

Vale salientar que os dados obtidos com o equipamento Eye-tracking, que realiza o rastreamento ocular, não foram utilizados nesta pesquisa.

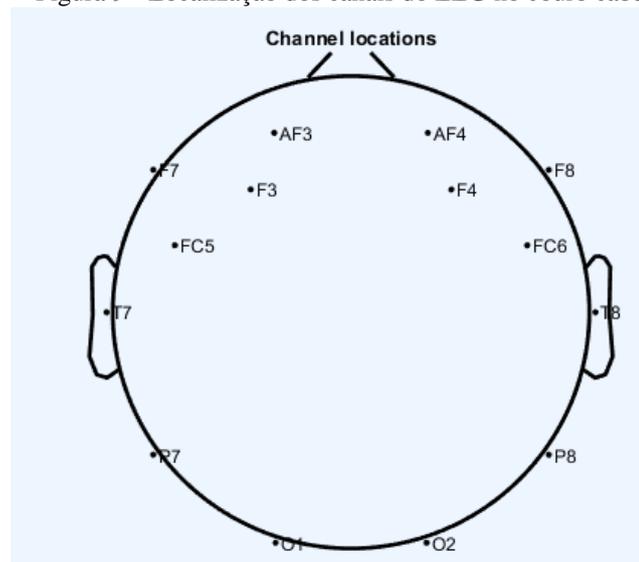
Figura 8 - Layout do experimento com o procedimento Tradeoff



Fonte: Adaptado de Silva et al. (2021).

Emotiv Epoc + é um EEG sem fio de alta resolução projetado para aplicações BCI (*Brain Control Interface*) com 14 canais localizados de acordo com o sistema internacional 10–20: AF3, AF4, F7, F8, F3, F4, FC5, FC6, T7, T8, P7, P8, O1 e O2. Dois outros eletrodos atuam como referência para o EEG. A visualização dos canais pode ser observada com a Figura 9:

Figura 9 - Localização dos canais do EEG no couro cabeludo



Fonte: A Autora (2021).

O Quadro 2 mostra as regiões associadas aos eletrodos.

Quadro 2 – Eletrodos do EEG associados à regiões do cérebro

Posições do eletrodo EEG	Regiões do cérebro
AF3, AF4	Frontal anterior
F3, F4, F7, F8	Frontal
FC5, FC6	Central frontal
T7, T8	Temporal
P7, P8	Parietal
O1, O2	Occipital

Fonte: Adaptado de Müller-Putz et al. (2015)

O pré-processamento dos dados foi realizado no EEGLAB e os artefatos de movimentos da cabeça, movimentos dos olhos e piscar, bem como interferências ambientais foram corrigidos. Esses tipos de artefatos são encontrados devido aos potenciais eletromagnéticos gerados por um grande número de neurônios, durante a captação de dados com o EEG e precisam ser removidos para compreensão dos dados cerebrais (ZHAO; SIAU, 2016).

Para isso, alguns passos foram seguidos, conforme descrito em Chaumon, Dorothy e Busch (2015): (i) re-referenciamento com base na atividade média calculada ao longo dos eletrodos, (ii) filtragem dos dados, utilizando resposta linear de impulso finita (passa-baixa: 0,1 Hz, e passa-alta: 40 Hz), (iii) inspeção visual com exclusão de partes ruins de dados e (iv) correção de artefatos usando o método de Análise de Componentes Independentes (ICA). Foram excluídas gravações com muitos artefatos ao longo do experimento. Por fim, as áreas de interesse foram identificadas e extraídas.

Os valores de densidade espectral de potência para cada canal do EEG durante o processo de elicitacão foram obtidos e calculados para as bandas de frequência: Delta EEG (1-4 Hz), Theta EEG (4-8 Hz), Alpha EEG (8-13 Hz), Beta EEG (13-30 Hz) e Gama EEG (30-40 Hz), conforme Pizzagalli (2007), os dados são coletados a uma taxa de amostragem de 128Hz por canal, com resolução temporal de milissegundos (DONG *et al.*, 2018) sendo a unidade de medida do potencial elétrico dada em microvolts e enviados via Bluetooth.

Esses valores foram posteriormente transformados em logaritmo para normalizar as distribuições dos valores de potência, conforme recomendado por Davidson *et al.* (1990). Vale salientar que, para esta pesquisa, apenas foram utilizados os dados obtidos com o eletroencefalograma (EEG).

3.2 EXPERIMENTO PARA INVESTIGAÇÃO DO PROCEDIMENTO TRADEOFF

O procedimento de execução dos experimentos, os equipamentos, materiais e as variáveis de estudo foram explanados no tópico 3.1. Conforme Roselli *et al.* (2020), o procedimento de Tradeoff já era conhecido dos participantes que cursavam a disciplina Decisão Multicritério

para alunos de graduação e pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Os problemas foram construídos durante por cada participante durante a disciplina, possibilitando os mais diversos tipos de problemas analisados com o experimento.

Com relação a amostra, 75 pessoas participaram deste experimento desenvolvido no ano de 2020. Após o processamento dos dados, a amostra final foi composta por 32 pessoas. Esta amostra apresenta gravações de 13 mulheres e 19 homens, 18 estudantes de graduação e 14 de pós-graduação; a média de idade foi de 23 anos. Para cada participante, a gravação foi dividida em cinco etapas, de acordo com o procedimento Tradeoff, ilustrado no Quadro 3:

Quadro 3 - Etapas correspondentes ao procedimento Tradeoff

Etapa	Definição
Etapa 1	Avaliação intracritério
Etapa 2	Ordenação das constantes de escala dos critérios
Etapa 3	Exploração do espaço de consequências
Etapa 4	Elicitação das constantes de escala
Etapa 5	Avaliação de Inconsistências

Fonte: A Autora (2021).

A Etapa 1 do experimento com o procedimento Tradeoff é a etapa da avaliação intracritério, realizada por meio do método da bisseção, um dos tipos de métodos para elicitación de função valor marginal (BELTON; STEWART, 2002). Esse método tem como objetivo encontrar o ponto exato de indiferença para cada critério e foi utilizado no experimento desenvolvido para esta pesquisa devido à estrutura do procedimento Tradeoff. Em seguida, é realizada a etapa de ordenação das constantes de escala dos critérios.

Em seguida, solicita-se ao decisor que faça a ordenação das constantes de escala dos critérios, de acordo com suas preferências no problema descrito. Na Etapa 3, têm-se a exploração do espaço de decisão. A Etapa 4 apresentou as questões de elicitación desenvolvidas para a elicitación das constantes de escala, através da comparação par a par entre os critérios.

A última etapa foi a análise das inconsistências, quando as inconsistências foram identificadas, três opções foram apresentadas aos participantes. A primeira, opção 1, indica em qual comparação ocorreu a inconsistência e sugere uma modificação na preferência expressa anteriormente de forma a corrigir essa inconsistência, ou seja, alterar as desigualdades produzidas na Etapa 2. A opção 2, sugere que a Etapa 4 seja repetida apenas para os critérios onde a inconsistência foi identificada. Por fim, a opção 3 sugere continuar o processo, ou seja, apresentar o resultado, mesmo com as inconsistências. Maiores detalhes do desenho do experimento, estão disponíveis em Roselli *et al.* (2020).

3.3 EXPERIMENTO PARA INVESTIGAÇÃO DO MÉTODO FITRADEOFF

Da Silva, Costa e De Almeida (2021) desenvolveram um experimento que contou com a participação de alunos de graduação e pós-graduação em Engenharia de Produção que obtinham conhecimento acerca do processo de apoio a decisão com a abordagem multicritério. Ainda conforme os autores, o método FITradeoff já era conhecido dos participantes que cursavam a disciplina Decisão Multicritério para alunos de graduação e pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Os problemas foram construídos por cada participante durante a disciplina, possibilitando os mais diversos tipos de problemas analisados com o experimento. Com relação à amostra, 78 pessoas participaram deste experimento. Os dados de 49 participantes foram considerados para o estudo, após pré-processamento e avaliação da qualidade. Cada gravação também foi dividida em etapas, conforme a sequência do experimento com o método FITradeoff. As etapas são descritas no Quadro 4:

Quadro 4 - Etapas correspondentes ao método FITradeoff

Etapa	Etapa correspondente
Etapa 1	Avaliação intracritério
Etapa 2	Ordenação das constantes de escala dos critérios
Etapa 3	Exploração do espaço de consequências
Etapa 4	Elicitação das constantes de escala
Etapa 5	Avaliação de Inconsistências

Fonte: A Autora (2021).

As etapas são bastante similares com as do procedimento Tradeoff, a diferença se dá na forma como as perguntas são apresentadas e as respostas computadas. A Etapa 1 é a avaliação intracritério, onde o tipo das funções valores são informados por cada participante na planilha de *input* do SAD. No FITradeoff, a avaliação intracritério é realizada conforme procedimentos de elicitación de função valor para modelos aditivos. Na etapa 2, é solicitado que o participante realize a ordenação das constantes de escala dos critérios, de acordo com as preferências dos participantes no problema descrito.

Após esta etapa, a primeira informação preferencial é inserida no PPL, e caso uma solução ótima for encontrada, o processo é finalizado. Se não, o participante segue para a Etapa 3, a exploração do espaço de consequências. A Etapa 4 apresenta as questões de elicitación desenvolvidas para coletar mais informações preferências do decisor, em termos de preferências estritas, através da comparação par a par entre os critérios. Por fim, é apresentado ao decisor, a

avaliação de inconsistências, da mesma forma que para o experimento com o procedimento Tradeoff.

3.4 COMPARAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Conforme citado anteriormente características como: condução do experimento, equipamentos utilizados, metodologia, variáveis de estudo e problema abordado estão presentes igualmente nos dois experimentos. O que difere é o período em que cada experimento foi aplicado e para qual método foi conduzido, primeiro o do Tradeoff e seis meses depois o do FITradeoff. Outro ponto que apresenta diferenças, é com relação ao tamanho da amostra, pois para cada análise, foi utilizada uma quantidade de dados de participantes de acordo com a comparação realizada. Por exemplo, para o experimento com o procedimento Tradeoff, todos os participantes realizaram as etapas avaliadas.

Por outro lado, para o experimento com o método FITradeoff, devido a característica do método, o resultado pode ser encontrado após a etapa de ordenação das constantes de escala dos critérios. Dessa forma, ao avaliar etapas adjacentes, deve-se utilizar dados de participantes que realizaram as etapas que estão sendo comparadas, o que pode gerar um número diferente de participantes pois nem todos necessitaram da elicitação em todas as etapas.

Quando é realizado o estudo comparativo entre o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff, foram analisados dados de participantes que realizaram os dois experimentos para todas as etapas que foram comparadas. As análises com o Diagrama Alpha-Theta e com o índice de engajamento POPE seguem o mesmo raciocínio. Um resumo do tamanho da amostra para cada análise é apresentado com o Quadro 5.

Quadro 5 - Descrição das amostras para cada análise

Análise dos dados de potência cerebral para cada canal do EEG	
Amostra para análise entre etapas adjacentes do Tradeoff	32
Amostra para análise entre etapas adjacentes do FITradeoff	49
Amostra para comparação entre FITradeoff e Tradeoff - etapa de ordenação	35
Amostra para comparação entre FITradeoff e Tradeoff - etapa de exploração	33
Amostra para comparação entre FITradeoff e Tradeoff - etapa de elicitação	29
Análise com o Diagrama Alpha-Theta	
Amostra para análise entre etapas adjacentes do Tradeoff	50
Amostra para análise entre etapas adjacentes do FITradeoff	49

Amostra para comparação entre FITradeoff e Tradeoff - etapa de ordenação, exploração e elicitación das constantes de escala	17
Análise com o índice de engajamento POPE	
Amostra para comparação entre FITradeoff e Tradeoff - etapa de ordenação, exploração e elicitación das constantes de escala	29

Fonte: A Autora (2021).

O próximo capítulo apresenta os resultados comparativos dos experimentos aplicados para avaliar o esforço cognitivo e o engajamento durante a elicitación por decomposição a partir dos dados do eletroencefalograma (EEG).

4 RESULTADOS COMPARATIVOS USANDO O EEG

Com o apoio de ferramentas da neurociência, esta pesquisa buscou identificar como os níveis de esforço cognitivo mudam, durante a elicitação por decomposição: 1) entre etapas adjacentes do procedimento Tradeoff; 2) entre etapas adjacentes do método FITradeoff e 3) ao realizar uma análise comparativa entre o procedimento Tradeoff e método FITradeoff, para etapas em comum aos métodos. Os resultados desses estudos comparativos são apresentados nesta seção.

Com relação ao que significam as atividades dessas bandas de frequência, lembrando do Capítulo 2, os estudos de Klimesch *et al.* (2005), Macdonald *et al.* (2011), Waschera *et al.* (2014) e Loof *et al.* (2019) indicam que um valor mais alto em Theta, nos canais frontais, pode sugerir uma maior dificuldade nas operações mentais e, uma redução dos valores Alpha na região parietal pode representar a indicação de atividade mental e engajamento. Gevins e Smith (2007) abordaram que o esforço de atenção está relacionado à atividade de alta frequência na banda Beta, com alto processamento cognitivo em áreas da região frontal do cérebro.

Para análise estatística dos dados de potência cerebral coletados com o EEG, foram desenvolvidas as seguintes hipóteses:

H0: valores de potência captados são semelhantes,

H1: valores de potência captados são diferentes.

Para fins de análise estatística e teste das hipóteses, foi aplicado o *Wilcoxon Signed Rank Test* ($\alpha = 0,05$), uma vez que as amostras na comparação entre as etapas são dependentes. Os dois grupos de amostras analisadas correspondem aos valores de potência para cada canal e em cada banda (por exemplo, valores de potência para o canal AF3 na banda Alpha). O teste não paramétrico de Postos Sinalizados de Wilcoxon (*Wilcoxon Signed Rank Test*,) com $\alpha = 5\%$ foi utilizado, pois não era exigida a conformidade com a distribuição normal para os valores.

O teste estatístico foi aplicado para todas as situações comparativas descritas no primeiro parágrafo deste capítulo, que tratam da hipótese de pesquisa deste trabalho, para verificar se os valores de potência dos dois grupos de participantes dos experimentos eram similares ou não, e caso não fossem, em qual dos grupos os valores de potência apresentavam crescimento. Assim, relaciona-se as perguntas/hipóteses de pesquisa com as hipóteses estatísticas.

Quando o *p-value* $< 0,05$, observam-se diferenças significativas, sendo a hipótese H0 sobre a similaridade dos valores, rejeitada. Assim, um crescimento nos valores de potência para uma das etapas pode ser identificado. Cabe acrescentar que em muitas das comparações

realizadas, o $p\text{-value} < 0,01$ também foi resultado do teste de Wilcoxon, porém, a fim de padronizar os resultados das análises estatísticas, foi mantido o $\alpha = 5\%$.

Com relação as tabelas para apresentação dos resultados, quando tratarem de etapas adjacentes do procedimento Tradeoff ou do método FITradeoff, as etapas serão identificadas através da nomenclatura correspondente e descritas nos Quadros 3 e 4. No exemplo da Tabela 1, têm-se a comparação entre as etapas de Ordenação das constantes de escala dos critérios (Etapa 2) e Exploração do espaço de consequências (Etapa 3) para o método FITradeoff na banda Theta. Para cada canal (representados pelas linhas) da primeira coluna da Tabela 1, é descrito na coluna 2 para qual etapa foi observado aumento ou redução dos valores de potência, por meio do sinal “<” (menor que). Essa descrição é apresentada apenas quando, de acordo com os testes estatísticos, as amostras apresentaram diferença significativa.

Vale ressaltar que os “-” (traços) indicam similaridade entre os valores (teste de Wilcoxon com $p\text{-value} > 0,05$), ou seja, não há diferença estatística entre eles e, portanto, considera-se a probabilidade do mesmo comportamento por parte dos decisores, nas duas etapas.

Tabela 1 - Comparação entre as Etapas 2 e 3 do método FITradeoff

Canal	Potência em Tetha
AF3	Etapa 2 < Etapa 3
AF4	Etapa 2 < Etapa 3
F3	Etapa 2 < Etapa 3
F4	Etapa 2 < Etapa 3
F7	Etapa 2 < Etapa 3
F8	Etapa 2 < Etapa 3
FC5	-
FC6	-
O1	-
O2	Etapa 2 < Etapa 3
P7	-
P8	-
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Com base na Tabela 1, pode-se avaliar na comparação entre as Etapas 2 e 3 (Ordenação das constantes de escala dos critérios e Exploração do espaço de consequências) que para a

maioria dos canais frontais (AF3, AF4, F3, F4) os valores da Etapa 2 foram menores que na Etapa 3 (Etapa 2 < Etapa3). Nesses canais, um crescimento nos valores de potência em Tetha foram identificados para etapa de Exploração do espaço de consequências, o que pode indicar aumento do esforço cognitivo demandando pelo decisor durante essa etapa. Esse tipo de análise dos resultados demonstrados através das tabelas será feito para todas as tabelas que descrevem comparações entre etapas adjacentes do Tradeoff e do FITradeoff.

De forma análoga, quando as tabelas tratarem da análise comparativa entre o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff, as etapas analisadas serão as etapas comuns aos dois métodos, descritas como Etapa 1: Ordenação das constantes de escala dos critérios; Etapa 2: Exploração do espaço de consequências e Etapa 3: Elicitação das constantes de escala.

A Tabela 2 apresenta os resultados para uma análise com relação a banda Theta na etapa de Ordenação das constantes de escala dos critérios, para exemplificar o que foi descrito nesse parágrafo.

Tabela 2 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff para etapa de Ordenação

Canal	Potência em Tetha
AF3	Tradeoff > FITradeoff
AF4	Tradeoff > FITradeoff
F3	Tradeoff > FITradeoff
F4	Tradeoff > FITradeoff
F7	Tradeoff > FITradeoff
F8	Tradeoff > FITradeoff
FC5	Tradeoff > FITradeoff
FC6	Tradeoff > FITradeoff
O1	Tradeoff > FITradeoff
O2	Tradeoff > FITradeoff
P7	Tradeoff > FITradeoff
P8	Tradeoff > FITradeoff
T7	Tradeoff > FITradeoff
T8	Tradeoff > FITradeoff

Fonte: A Autora (2021).

Os valores do *p-value* indicados serão aqueles onde diferenças significativas foram observadas, sendo a hipótese H0 (nula) sobre a similaridade dos valores, rejeitada e, os “-”

(traços) indicam a ausência de diferença estatística para os grupos comparados. Nas tabelas, será identificado para cada canal e, em cada etapa, se os valores de potência foram maiores para o procedimento Tradeoff ou para o método FITradeoff (exemplo: Tradeoff > FITradeoff). Com relação a etapa de Ordenação das constantes de escala dos critérios (Etapa 1), uma diferença significativa entre as amostras foi observada para todos os canais. Os dados de potência coletados do experimento realizado com o procedimento Tradeoff geraram valores maiores em Theta quando comparados aos valores de potência obtidos do experimento com o método FITradeoff, o que pode indicar um aumento do esforço cognitivo na análise com o Tradeoff.

O Diagrama de Quadrantes Alpha-Theta, também foi utilizado como variável de estudo. A partir da combinação dos valores de potência em duas bandas de frequência: no eixo x os valores de Theta, para o canal F3, e no eixo y os valores de Alpha, para o canal P7, o Diagrama permite uma nova concepção para a classificação do comportamento dos participantes durante o experimento, considerando o engajamento, a partir dos valores da banda Alpha no canal P7, e o esforço cognitivo, a partir dos valores de F3 em Theta (ROSELLI; DE ALMEIDA, 2022).

A fim de complementar os resultados desta pesquisa, também foram realizadas análises por meio do índice de engajamento POPE ou *POPE Index*, introduzido por Pope *et al.* (1995), com o objetivo de mensurar o grau de envolvimento na tarefa determinado com base nos dados de EEG.

Os resultados para cada análise, serão apresentadas no subitem 4.1, na mesma perspectiva de apresentação de dados das Tabelas que foram utilizadas como exemplo neste tópico. O item 4.2 trata dos resultados das análises com o Diagrama de Quadrantes Alpha-Theta e o item 4.3 traz os resultados do índice de engajamento POPE. Em seguida, o item 4.4 trata da discussão dos resultados e, por fim, o item 4.5 traz as recomendações, sugestões e *insights* deste trabalho.

4.1 ANÁLISES COM OS VALORES DE POTÊNCIA NAS BANDAS DE FREQUENCIA ALPHA, BETA E TETHA

A definição das bandas de frequência se dá devido a relação que cada banda de frequência tem com aspectos cognitivos relacionados ao processo decisório (MULLER-PUTZ *et al.*, 2015). Os estudos de Klimesch *et al.* (2005), Macdonald *et al.* (2011), Waschera *et al.* (2014) e Loof *et al.* (2019), indicam que um valor mais alto em Theta, nos canais frontais, pode sugerir uma maior dificuldade nas operações mentais e, que a redução dos valores Alpha na região parietal pode representar a indicação de atividade mental e engajamento. Gevins e Smith (2007) abordaram que o esforço de atenção está relacionado à atividade de alta frequência na banda Beta, com alto processamento cognitivo em áreas da região frontal do cérebro, conforme citados

no Capítulo 2. Os próximos tópicos foram desenvolvidos para trazer os resultados das análises comparativas em cada banda de frequência. Portanto, foram divididos em: Análises Banda Alpha, onde estará os resultados das análises comparativas para dados cerebrais na banda de frequência Alpha e na mesma perspectiva, as análises para bandas Theta e Beta.

4.1.1 Análise Banda Alpha

Neste tópico serão apresentados todos os resultados das análises realizadas com os dados coletados através do EEG para a banda de frequência Alpha EEG (8-13 Hz).

4.1.1.1 Resultados para o procedimento Tradeoff

Foram avaliadas amostras de 32 participantes do experimento com o procedimento Tradeoff, comparando os dados dos participantes que realizaram as mesmas etapas. O experimento e o pré-processamento dos dados foram realizados por Roselli *et al.* (2020). A Tabela 3 traz os resultados obtidos do experimento com o SAD do Tradeoff, comparando as etapas de Bissecção e Ordenação das constantes de escala dos critérios (Etapa 1 x Etapa 2).

Tabela 3 – Comparação entre as Etapas 1 e 2 do Tradeoff

Canal	Potência em Alpha
AF3	Etapa 1 < Etapa 2
AF4	Etapa 1 < Etapa 2
F3	Etapa 1 < Etapa 2
F4	Etapa 1 < Etapa 2
F7	Etapa 1 < Etapa 2
F8	Etapa 1 < Etapa 2
FC5	Etapa 1 < Etapa 2
FC6	Etapa 1 < Etapa 2
O1	Etapa 1 < Etapa 2
O2	Etapa 1 < Etapa 2
P7	Etapa 1 < Etapa 2
P8	Etapa 1 < Etapa 2
T7	Etapa 1 < Etapa 2
T8	Etapa 1 < Etapa 2

Fonte: A Autora (2021).

Um decréscimo em Alpha, indica um maior engajamento do decisor durante determinada etapa. Conforme a Tabela 3, para a comparação entre as etapas de Bisseção e Ordenação das Constantes de escala dos critérios, observou-se após a análise estatística o *p-value* $< 0,05$, em todos os canais. Ou seja, existem diferenças significativas entre as amostras. Nesse caso, valores menores de Alpha para bisseção, significa que os decisores estavam mais engajados na etapa da bisseção e com menor engajamento na etapa de Ordenação.

Por outro lado, na análise entre as etapas de Ordenação das constantes de escala dos critérios e Exploração do espaço de consequências (Etapa 2 x Etapa 3), o *p-value* é predominantemente $> 0,05$. Dessa forma, a hipótese nula não é rejeitada. Na prática, admite-se que as amostras são provenientes da mesma distribuição de probabilidade, ou seja, isso significa que para as duas etapas, os decisores apresentaram o mesmo engajamento. A Tabela 4 mostra esses resultados.

Tabela 4 – Comparação entre as Etapas 2 e 3 do Tradeoff

Canal	Potência em Alpha
AF3	-
AF4	-
F3	-
F4	-
F7	-
F8	-
FC5	Etapa 2 > Etapa 3
FC6	-
O1	Etapa 2 > Etapa 3
O2	-
P7	-
P8	-
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Apenas para os canais FC5 e O1, o resultado do teste apresentou o *p-value* $< 0,05$, com valores de potência menores para a etapa de exploração do espaço de consequências. A próxima comparação realizada, foi entre a etapa de Exploração do espaço de consequências e a etapa de Elicitação das constantes de escala (Etapa 3 x Etapa 4), conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Comparação entre as Etapas 3 e 4 do Tradeoff

Canal	Potência em Alpha
AF3	-
AF4	Etapa 3 > Etapa 4
F3	-
F4	Etapa 3 > Etapa 4
F7	-
F8	-
FC5	Etapa 3 > Etapa 4
FC6	Etapa 3 > Etapa 4
O1	-
O2	-
P7	-
P8	Etapa 3 > Etapa 4
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Verifica-se que, ao comparar o engajamento dos decisores entre as duas etapas, em alguns canais frontais como AF4, F4, FC5, FC6, foi detectado um menor valor de Alpha para a etapa de Elicitação das constantes de escala, caracterizando maior engajamento dos decisores para essa etapa. Para os demais canais, o $p\text{-value} > 0,05$ sugere o mesmo engajamento, por parte dos decisores, para as duas etapas.

Ainda como análises, para a etapa de elicitação, foram realizadas comparações entre ela e etapas não adjacentes, mas que fazem parte do procedimento Tradeoff, a fim de compreender o comportamento do decisor na etapa de elicitação, em relação as demais.

Na comparação da etapa da Bisseção com a Etapa de Elicitação das constantes de escala (Etapa 1 x Etapa 4), para a maioria dos canais, um maior engajamento é identificado para a etapa de Bisseção, como é possível observar com a Tabela 6, pois os valores de potência em Alpha apresentaram crescimento na etapa de elicitação das constantes de escala por decomposição.

Tabela 6 – Comparação entre as Etapas 1 e 4 do Tradeoff

Canal	Potência em Alpha
AF3	Etapa 1 < Etapa 4
AF4	Etapa 1 < Etapa 4
F3	-
F4	-

F7	Etapa 1 < Etapa 4
F8	Etapa 1 < Etapa 4
FC5	Etapa 1 < Etapa 4
FC6	Etapa 1 < Etapa 4
O1	-
O2	Etapa 1 < Etapa 4
P7	Etapa 1 < Etapa 4
P8	Etapa 1 < Etapa 4
T7	Etapa 1 < Etapa 4
T8	Etapa 1 < Etapa 4

Fonte: A Autora (2021).

Por fim, têm-se a comparação da Etapa de Ordenação das constantes de escala dos critérios com a Etapa de Elicitação das constantes de escala (Etapa 2 x Etapa 4), os resultados são apresentados com a Tabela 7.

Tabela 7 – Comparação entre as Etapas 2 e 4 do Tradeoff

Canal	Potência em Alpha
AF3	Etapa 2 > Etapa 4
AF4	Etapa 2 > Etapa 4
F3	Etapa 2 > Etapa 4
F4	Etapa 2 > Etapa 4
F7	Etapa 2 > Etapa 4
F8	Etapa 2 > Etapa 4
FC5	Etapa 2 > Etapa 4
FC6	Etapa 2 > Etapa 4
O1	Etapa 2 > Etapa 4
O2	-
P7	Etapa 2 > Etapa 4
P8	Etapa 2 > Etapa 4
T7	Etapa 2 > Etapa 4
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

É notório o decréscimo nos valores de potência em Alpha para etapa de elicitação, que corresponde a um maior engajamento ou maior atividade mental nessa etapa. Avaliando todas as análises, os resultados sugerem que a medida em que as atividades ganham um maior nível de concentração e esforço mental, os participantes estiveram mais engajados.

Como exemplo, em comparações onde se trata da etapa de Bisseção ou de Elicitação das constantes de escala, etapas onde o participante deve responder questões até que seja encontrado o ponto de indiferença, é exatamente as etapas onde se verifica maior atividade mental de engajamento.

4.1.1.2 Resultados para o método FITradeoff

Para o presente estudo, foram analisadas amostras de 49 participantes do experimento com o método FITradeoff, comparando dados entre participantes que realizaram as mesmas etapas. O experimento e o pré-processamento dos dados foram realizados por Da Silva, Costa e De Almeida (2021).

A análise comparativa das etapas de Ordenação das constantes de escala e de Exploração do espaço de consequências (Etapa 2 x Etapa 3), pode ser verificada com a Tabela 8.

Tabela 8 – Comparação entre as Etapas 2 e 3 do FITradeoff

Canal	Potência em Alpha
AF3	Etapa 2 < Etapa 3
AF4	Etapa 2 < Etapa 3
F3	Etapa 2 < Etapa 3
F4	-
F7	Etapa 2 < Etapa 3
F8	Etapa 2 < Etapa 3
FC5	Etapa 2 < Etapa 3
FC6	Etapa 2 < Etapa 3
O1	Etapa 2 < Etapa 3
O2	Etapa 2 < Etapa 3
P7	Etapa 2 < Etapa 3
P8	Etapa 2 < Etapa 3
T7	Etapa 2 < Etapa 3
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Para os canais F4 e T8, o $p\text{-value} > 0,05$, indica que para as duas etapas, os decisores demonstraram o mesmo engajamento, pois não há diferença significativa entre as duas amostras e, portanto, considera-se a probabilidade do mesmo comportamento por parte dos decisores, nas duas etapas. Para a maioria dos canais, o $p\text{-value} < 0,05$ e valores menores de Alpha para

etapa de Ordenação, significa que os decisores estavam mais engajados, com maior atividade mental nessa etapa.

Para as etapas de Exploração do espaço de consequências e Elicitação das constantes de escala (Etapa 3 x Etapa 4), o resultado do teste estatístico foi o $p\text{-value} > 0,05$ em todos os canais. Esse resultado indica que para as duas etapas, os decisores demonstraram o mesmo engajamento, pois não existe diferença significativa entre as duas amostras, conforme Tabela 9:

Tabela 9 – Comparação entre as Etapas 3 e 4 do FITradeoff

Canal	Potência em Alpha
AF3	-
AF4	-
F3	-
F4	-
F7	-
F8	-
FC5	-
FC6	-
O1	-
O2	-
P7	-
P8	-
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Comparando a etapa de Ordenação das constantes de escala com a etapa de Elicitação das constantes de escala (Etapa 2 x Etapa 4), têm-se os resultados na Tabela 10:

Tabela 10 – Comparação entre as Etapas 2 e 4 do FITradeoff

Canal	Potência em Alpha
AF3	Etapa 2 < Etapa 4
AF4	Etapa 2 < Etapa 4
F3	-
F4	-
F7	Etapa 2 < Etapa 4
F8	-
FC5	Etapa 2 < Etapa 4

FC6	Etapa 2 < Etapa 4
O1	Etapa 2 < Etapa 4
O2	Etapa 2 < Etapa 4
P7	-
P8	Etapa 2 < Etapa 4
T7	Etapa 2 < Etapa 4
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Afere-se que para os canais F3, F4, F8, P7 e T8, o $p\text{-value} > 0,05$, indica que os decisores estavam com o mesmo engajamento nas duas etapas, pois não existe diferença significativa entre as duas amostras. Para os demais canais, $p\text{-value} < 0,05$ e valores menores de Alpha para ordenação, significa que o decisor estava mais engajado, com maior atividade mental na etapa da ordenação.

4.1.1.3 Resultados da análise comparativa entre o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff

O foco desta análise, por tratar-se de um estudo comparativo de aspectos comportamentais, são as etapas onde o decisor expressa suas preferências e, nesta seção, etapas em comum aos dois métodos. Com a interseção entre os participantes que executaram a mesma tarefa, ou seja, realizaram elicitação para as mesmas etapas, seja com o procedimento Tradeoff ou com o método FITradeoff, os dados foram coletados e analisados. Esses dados foram fornecidos a partir dos experimentos citados anteriormente, realizados por Roselli *et al.* (2020) e da Silva, Costa e De Almeida (2021),

Nas tabelas, será identificado para cada canal e, em cada etapa, se os valores de potência foram maiores para o procedimento Tradeoff ou para o método FITradeoff (exemplo: Tradeoff > FITradeoff). Os “-” (traços) indicam a ausência de diferença estatística para os grupos comparados e, portanto, considera-se a probabilidade do mesmo comportamento por parte dos decisores, nas duas etapas. A Tabela 11 traz os resultados das análises do experimento com os respectivos SADs, para a etapa de ordenação das constantes de escala.

Tabela 11 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de ordenação

Canal	Potência em Alpha
AF3	Tradeoff > FITradeoff
AF4	Tradeoff > FITradeoff
F3	Tradeoff > FITradeoff

F4	-
F7	Tradeoff > FITradeoff
F8	Tradeoff > FITradeoff
FC5	Tradeoff > FITradeoff
FC6	Tradeoff > FITradeoff
O1	Tradeoff > FITradeoff
O2	Tradeoff > FITradeoff
P7	Tradeoff > FITradeoff
P8	Tradeoff > FITradeoff
T7	Tradeoff > FITradeoff
T8	Tradeoff > FITradeoff

Fonte: A Autora (2021).

Na etapa de Ordenação das constantes de escala, na vasta maioria dos canais, a diferença estatística encontrada e a variação observada nos valores de potência, sendo esses menores em Alpha para o método FITradeoff, significa que os decisores estavam mais engajados ao utilizar o método. A Tabela 12 apresenta os resultados para a etapa de Exploração do espaço de consequências.

Tabela 12 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de exploração

Canal	Potência em Alpha
AF3	Tradeoff > FITradeoff
AF4	Tradeoff > FITradeoff
F3	Tradeoff > FITradeoff
F4	Tradeoff > FITradeoff
F7	Tradeoff > FITradeoff
F8	Tradeoff > FITradeoff
FC5	Tradeoff > FITradeoff
FC6	Tradeoff > FITradeoff
O1	Tradeoff > FITradeoff
O2	Tradeoff > FITradeoff
P7	Tradeoff > FITradeoff
P8	Tradeoff > FITradeoff
T7	Tradeoff > FITradeoff
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Para maior parte dos canais, a diferença estatística encontrada e a variação observada nos valores de potência, sendo esses menores em Alpha para o método FITradeoff, significa que os decisores estavam mais engajados ao utilizar o método. Os resultados para a etapa de Elicitação das constantes de escala, são ilustrados através da Tabela 13.

Tabela 13 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de elicitación

Canal	Potência em Alpha
AF3	Tradeoff > FITradeoff
AF4	Tradeoff > FITradeoff
F3	-
F4	-
F7	-
F8	-
FC5	-
FC6	-
O1	Tradeoff > FITradeoff
O2	-
P7	-
P8	-
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Considerando a etapa de Elicitación das constantes de escala, nenhuma variação significativa foi observada entre os métodos para a maioria dos canais, o que indica que os decisores estavam com o mesmo engajamento ao utilizar o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff. Para todas estas comparações desenvolvidas, em poucos canais, a diferença estatística e variação observada nos valores de potência, ainda assim, apresentam decréscimo em Alpha para o método FITradeoff, o que significa que os decisores estavam mais engajados ao utilizar o método.

4.1.2 Análise Banda Beta

Nesta seção serão apresentados todos os resultados das análises realizadas com os dados coletados através do EEG na banda de frequência Beta EEG (13-30 Hz).

4.1.2.1 Resultados para o procedimento Tradeoff

Foram avaliadas amostras de 32 pessoas que participaram do experimento com o procedimento Tradeoff, comparando os dados dos participantes que realizaram a mesma etapa. O experimento e o pré-processamento dos dados foram realizados por Roselli *et al.* (2020). A Tabela 14 expõe os resultados obtidos do experimento com o SAD do Tradeoff, para as etapas de Bisseção e Ordenação das constantes de escala (Etapa 1 x Etapa 2).

Tabela 14 – Comparação entre as etapas 1 e 2 do Tradeoff

Canal	Potência em Beta
AF3	Etapa 1 < Etapa 2
AF4	Etapa 1 < Etapa 2
F3	Etapa 1 < Etapa 2
F4	Etapa 1 < Etapa 2
F7	Etapa 1 < Etapa 2
F8	Etapa 1 < Etapa 2
FC5	Etapa 1 < Etapa 2
FC6	Etapa 1 < Etapa 2
O1	Etapa 1 < Etapa 2
O2	Etapa 1 < Etapa 2
P7	Etapa 1 < Etapa 2
P8	Etapa 1 < Etapa 2
T7	Etapa 1 < Etapa 2
T8	Etapa 1 < Etapa 2

Fonte: A Autora (2021).

Observa-se que, em todos os canais, os valores de potência para a banda Beta apresentam crescimento quando na Etapa 2, da Ordenação das constantes de escala. Esse resultado, representa um aumento do esforço cognitivo dos decisores para a etapa citada, os participantes sentiram maior dificuldade ou grau de complexidade ao realizar a etapa de Ordenação das Constantes de escala do que na etapa de Bisseção. A comparação seguinte, exemplificada com a Tabela 15, traz os resultados da comparação das próximas etapas adjacentes do Tradeoff: a Ordenação das constantes de escala x Exploração do espaço de consequências (Etapa 2 x Etapa 3).

Tabela 15 – Comparação entre as etapas 2 e 3 do Tradeoff

Canal	Potência em Beta
AF3	Etapa 2 > Etapa 3

AF4	-
F3	-
F4	-
F7	-
F8	-
FC5	Etapa 2 > Etapa 3
FC6	-
O1	Etapa 2 > Etapa 3
O2	-
P7	-
P8	Etapa 2 > Etapa 3
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Verifica-se que em Beta, Ordenação > Exploração, ou seja, foi detectado maior esforço cognitivo, registrado nos canais AF3, FC5, O1 e P8, para a etapa da Ordenação das constantes de escala. Novamente, essa etapa demandou maior esforço cognitivo para o decisor, de modo que um crescimento em Beta foi identificado através dos sinais de EEG nos canais citados. Para os demais canais, o $p\text{-value} > 0,05$ indica que as amostras são provenientes da mesma distribuição de probabilidade, ou seja, que não existe diferença significativa entre as duas amostras. Isso pode indicar o mesmo engajamento e grau de esforço cognitivo para as duas etapas.

A Tabela 16 faz referência aos resultados encontrados quando da comparação entre as etapas de Exploração do espaço de consequências e Elicitação das constantes de escala (Etapa 3 x Etapa 4).

Tabela 16 – Comparação entre as etapas 3 e 4 do Tradeoff

Canal	Potência em Beta
AF3	Etapa 3 > Etapa 4
AF4	Etapa 3 > Etapa 4
F3	-
F4	Etapa 3 > Etapa 4
F7	-
F8	Etapa 3 > Etapa 4
FC5	Etapa 3 > Etapa 4
FC6	Etapa 3 > Etapa 4

O1	-
O2	-
P7	-
P8	Etapa 3 > Etapa 4
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Em Beta, para os canais AF3, AF4, F4, F8, FC5, FC6 e P8, foi registrado maior esforço cognitivo na etapa da Exploração do espaço de consequências, vale salientar que em sua maioria, esses canais são os frontais, ligados diretamente a execução de ações em situação de decisão. Para os demais canais, o *p-value* > 0,05 em beta, indica que as amostras são provenientes da mesma distribuição de probabilidade, ou seja, que não existe diferença significativa entre as duas amostras. Dessa forma, observa-se o mesmo engajamento e grau de esforço cognitivo, por parte do decisor, para as duas etapas.

Complementando as análises, foi realizada uma comparação da etapa de Elicitação das constantes de escala com as demais etapas. Os resultados da comparação entre a etapa de Bisseção e a etapa de Elicitação das constantes de escala (Etapa 1 x Etapa 4), são apresentadas com a Tabela 17:

Tabela 17 – Comparação entre as etapas 1 e 4 do Tradeoff

Canal	Potência em Beta
AF3	-
AF4	Etapa 1 < Etapa 4
F3	Etapa 1 < Etapa 4
F4	Etapa 1 < Etapa 4
F7	Etapa 1 < Etapa 4
F8	Etapa 1 < Etapa 4
FC5	
FC6	Etapa 1 < Etapa 4
O1	
O2	Etapa 1 < Etapa 4
P7	Etapa 1 < Etapa 4
P8	Etapa 1 < Etapa 4
T7	
T8	Etapa 1 < Etapa 4

Fonte: A Autora (2021).

Em Beta, nos canais AF3, FC5, O1 e T7, foram registrados valores que correspondem ao mesmo esforço cognitivo para as duas etapas, com $p\text{-value} > 0,05$. Para os demais canais, valores maiores em Beta para elicitaco, significam um alto esforço cognitivo para a etapa de elicitaco ($p\text{-value} < 0,05$).

Por fim, a Tabela 18 apresenta os resultados da comparação entre a etapa de Ordenação das constantes de escala e Elicitaco das constantes de escala (Etapa 2 x Etapa 4).

Tabela 18 – Comparação entre as etapas 2 e 4 do Tradeoff

Canal	Potência em Beta
AF3	Etapa 2 > Etapa 4
AF4	Etapa 2 > Etapa 4
F3	Etapa 2 > Etapa 4
F4	Etapa 2 > Etapa 4
F7	Etapa 2 > Etapa 4
F8	Etapa 2 > Etapa 4
FC5	Etapa 2 > Etapa 4
FC6	Etapa 2 > Etapa 4
O1	Etapa 2 > Etapa 4
O2	Etapa 2 > Etapa 4
P7	Etapa 2 > Etapa 4
P8	Etapa 2 > Etapa 4
T7	Etapa 2 > Etapa 4
T8	Etapa 2 > Etapa 4

Fonte: A Autora (2021).

Após o teste de *Wilcoxon*, o $p\text{-value} < 0,05$ em todas as comparações dos canais. Os resultados possibilitam aferir que para a banda Beta, tem-se um crescimento dos valores durante a etapa de Ordenação das constantes de escala quando comparada a etapa de Elicitaco das constantes de escala, o que significa maior esforço cognitivo para a etapa de Ordenação.

4.1.2.2 Resultados para o método FITradeoff

Para o presente estudo, foram analisadas amostras de 49 participantes do experimento com o método FITradeoff, comparando dados entre participantes que realizaram cada etapa do método. O experimento e o pré-processamento dos dados foram realizados por da Silva, Costa e De Almeida (2021). Os resultados da primeira comparação estão apresentados na Tabela 19. Nesse primeiro momento, a comparação  feita entre etapas adjacentes, que neste caso, as etapas

de Ordenação das constantes de escala (Etapa 2) e Exploração do espaço de consequências (Etapa 3).

Tabela 19 – Comparação entre as etapas 2 e 3 o método FITradeoff

Canal	Potência em Beta
AF3	-
AF4	-
F3	-
F4	-
F7	-
F8	-
FC5	-
FC6	-
O1	-
O2	-
P7	-
P8	-
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Os espaços estão preenchidos com “-” porque para Beta, o p-value > 0.05 , em todos os canais, indica o mesmo esforço cognitivo para as duas etapas. A Tabela 20 corresponde aos resultados da análise comparativa entre as etapas de Exploração do espaço de consequências (Etapa 3) e a etapa de Elicitação das constantes de escala (Etapa 4).

Tabela 20 - Comparação entre as etapas 3 e 4 o método FITradeoff

Canal	Potência em Beta
AF3	-
AF4	-
F3	-
F4	-
F7	-
F8	-
FC5	-
FC6	Etapa 3 < Etapa 4
O1	Etapa 3 < Etapa 4

O2	-
P7	-
P8	-
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Em Beta, o $p\text{-value} < 0.05$ foi identificado com o teste estatístico somente nos canais FC6 e O1. Nestes, o crescimento em Beta para a etapa de Elicitação das constantes de escala, significa que os decisores sentiram maior dificuldade/maior grau de complexidade nessa etapa em comparação com a etapa de Exploração do espaço de consequências. Nos demais canais, o $p\text{-value} > 0.05$, indica o mesmo esforço cognitivo/grau de complexidade para as duas etapas. A Tabela 21, apresenta os resultados encontrados da comparação entre as etapas de Ordenação das constantes de escala e Elicitação das constantes de escala (Etapa 2 x Etapa 4).

Tabela 21 - Comparação entre as etapas 2 e 4 o método FITradeoff

Canal	Potência em Beta
AF3	-
AF4	-
F3	-
F4	-
F7	-
F8	-
FC5	Etapa 2 < Etapa 4
FC6	-
O1	-
O2	-
P7	-
P8	-
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Dessa forma, verifica-se que, em Beta, com exceção do canal FC5, para os demais canais, o $p\text{-value} > 0.05$, indica o mesmo esforço cognitivo/grau de complexidade para as duas etapas.

4.1.2.3 Resultados da análise comparativa entre o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff

O foco desta análise, por tratar-se de um estudo comparativo de aspectos comportamentais, são as etapas onde o decisor expressa suas preferências e, nesta seção, etapas em comum aos dois métodos. Foi realizada a interseção entre os participantes que passaram pelas mesmas etapas, seja com o procedimento Tradeoff ou com o método FITradeoff, a partir dos experimentos citados anteriormente, realizados por Roselli *et al.* (2020) e da Silva, Costa e De Almeida (2021). Os resultados da comparação para a etapa de Ordenação das constantes de escala, apresentados através da Tabela 22.

Tabela 22 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de ordenação

Canal	Potência em Beta
AF3	Tradeoff > FITradeoff
AF4	Tradeoff > FITradeoff
F3	Tradeoff > FITradeoff
F4	Tradeoff > FITradeoff
F7	Tradeoff > FITradeoff
F8	Tradeoff > FITradeoff
FC5	Tradeoff > FITradeoff
FC6	Tradeoff > FITradeoff
O1	Tradeoff > FITradeoff
O2	Tradeoff > FITradeoff
P7	Tradeoff > FITradeoff
P8	Tradeoff > FITradeoff
T7	Tradeoff > FITradeoff
T8	Tradeoff > FITradeoff

Fonte: A Autora (2021).

Na banda de frequência Beta, observa-se um crescimento dos valores de potência em todos os canais, para o procedimento Tradeoff, representando que os decisores apresentaram um maior esforço cognitivo ao utilizar o procedimento. Com relação a etapa de Exploração do espaço de consequências, etapa também similar ao Tradeoff e FITradeoff, a Tabela 23 traz os resultados.

Tabela 23 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de exploração

Canal	Potência em Beta
--------------	-------------------------

AF3	Tradeoff > FITradeoff
AF4	Tradeoff > FITradeoff
F3	Tradeoff > FITradeoff
F4	Tradeoff > FITradeoff
F7	Tradeoff > FITradeoff
F8	Tradeoff > FITradeoff
FC5	Tradeoff > FITradeoff
FC6	Tradeoff > FITradeoff
O1	Tradeoff > FITradeoff
O2	Tradeoff > FITradeoff
P7	Tradeoff > FITradeoff
P8	Tradeoff > FITradeoff
T7	Tradeoff > FITradeoff
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Para Beta, com o $p\text{-value} < 0.05$ e aumento nos valores de potência em Beta para o procedimento Tradeoff, indica um maior esforço cognitivo ao utilizar o procedimento. Apenas para o canal T8, o $p\text{-value} > 0.05$, indica o mesmo esforço cognitivo com o Tradeoff e o FITradeoff. Para a etapa de Elicitação das constantes de escala, a Tabela 24 apresenta todos os valores do $p\text{-value}$ encontrados para cada canal.

Tabela 24 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de elicitación

Canal	Potência em Beta
AF3	Tradeoff > FITradeoff
AF4	Tradeoff > FITradeoff
F3	-
F4	-
F7	-
F8	-
FC5	-
FC6	-
O1	Tradeoff > FITradeoff
O2	-
P7	Tradeoff > FITradeoff
P8	-

T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Observa-se um crescimento nos valores de potência em Beta para o Tradeoff, ou seja, um maior esforço cognitivo ao utilizar o procedimento. Observa-se esse aumento nos canais AF3, AF4, O1 e P7 ($p < 0.05$). Nos demais, o $p\text{-value} > 0.05$, indica o mesmo esforço cognitivo/grau de complexidade ao utilizar o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff, na etapa de Elicitação.

4.1.3 Análise Banda Theta

Esta seção trata de todos os resultados das análises realizadas com os dados obtidos através do EEG na banda de frequência Theta EEG (4-8 Hz).

4.1.3.1 Resultados para o procedimento Tradeoff

Foram avaliadas amostras de 32 pessoas que participaram do experimento com o procedimento Tradeoff, comparando os dados dos participantes que realizaram a mesma etapa. O experimento e o pré-processamento dos dados foram realizados por Roselli *et al.* (2020). A seguir, os resultados para etapas adjacentes com o SAD do Tradeoff. Inicialmente, a Tabela 25 explana os resultados para a comparação entre as etapas de Bisseção (Etapa 1) e Ordenação das constantes de escala (Etapa 2).

Tabela 25 – Comparação entre as etapas 1 e 2 do Tradeoff

Canal	Potência em Tetha
AF3	Etapa 1 < Etapa 2
AF4	Etapa 1 < Etapa 2
F3	Etapa 1 < Etapa 2
F4	Etapa 1 < Etapa 2
F7	Etapa 1 < Etapa 2
F8	Etapa 1 < Etapa 2
FC5	Etapa 1 < Etapa 2
FC6	Etapa 1 < Etapa 2
O1	Etapa 1 < Etapa 2
O2	Etapa 1 < Etapa 2
P7	Etapa 1 < Etapa 2

P8	Etapa 1 < Etapa 2
T7	Etapa 1 < Etapa 2
T8	Etapa 1 < Etapa 2

Fonte: A Autora (2021).

Em Tetha, observa-se um aumento nos valores de Tetha para Ordenação das constantes de escala, em comparação com a etapa de Bisseção, apontando que os decisores apresentaram maior esforço cognitivo na etapa de Ordenação. A comparação seguinte, exemplificada com a Tabela 26, traz os resultados da comparação das próximas etapas adjacentes do Tradeoff: a Ordenação das constantes de escala x Exploração do espaço de consequências (Etapa 2 x Etapa 3).

Tabela 26 – Comparação entre as etapas 2 e 3 do Tradeoff

Canal	Potência em Theta
AF3	-
AF4	-
F3	-
F4	-
F7	-
F8	-
FC5	Etapa 2 > Etapa 3
FC6	-
O1	Etapa 2 > Etapa 3
O2	-
P7	-
P8	-
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Verifica-se que em Theta, Ordenação > Exploração, ou seja, foi detectado maior esforço cognitivo, foi detectado maior esforço cognitivo, registrado nos canais FC5 e O1, para a etapa da Ordenação das constantes de escala. Novamente, essa etapa demandou maior esforço cognitivo para o decisor, de modo que um crescimento em Theta foi identificado através dos sinais de EEG nos canais citados. Para os demais canais, o *p-value* > 0,05 indica que não existe diferença significativa entre as duas amostras, o que corresponde ao mesmo engajamento e grau de esforço cognitivo para as duas etapas.

A Tabela 27 faz referência aos resultados encontrados quando da comparação entre as etapas de Exploração do espaço de consequências e Elicitação das constantes de escala (Etapa 3 x Etapa 4).

Tabela 27 – Comparação entre as etapas 3 e 4 do Tradeoff

Canal	Potência em Theta
AF3	-
AF4	-
F3	-
F4	Etapa 3 > Etapa 4
F7	-
F8	
FC5	
FC6	Etapa 3 > Etapa 4
O1	-
O2	-
P7	-
P8	-
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Em Theta, para os canais F4 e FC6, foi registrado maior esforço cognitivo na etapa da Exploração do espaço de consequências, vale salientar que esses canais são os frontais, ligados diretamente a execução de ações em situação de decisão. Para os demais canais, o *p-value* > 0,05 em Theta, indica que as amostras são provenientes da mesma distribuição de probabilidade, ou seja, que não existe diferença significativa entre as duas amostras. Dessa forma, observa-se o mesmo esforço cognitivo, por parte do decisor, para as duas etapas.

Complementando as análises, foi realizada uma comparação da etapa de Elicitação das constantes de escala com as demais etapas. Os resultados da comparação entre a Etapa da Bisseção e a etapa de Elicitação das constantes de escala (Etapa 1 x Etapa 4), são apresentadas com a Tabela 28:

Tabela 28 – Comparação entre as etapas 1 e 4 do Tradeoff

Canal	Potência em Theta
AF3	Etapa 1 < Etapa 4
AF4	Etapa 1 < Etapa 4

F3	Etapa 1 < Etapa 4
F4	-
F7	Etapa 1 < Etapa 4
F8	Etapa 1 < Etapa 4
FC5	Etapa 1 < Etapa 4
FC6	Etapa 1 < Etapa 4
O1	-
O2	Etapa 1 < Etapa 4
P7	Etapa 1 < Etapa 4
P8	Etapa 1 < Etapa 4
T7	Etapa 1 < Etapa 4
T8	Etapa 1 < Etapa 4

Fonte: A Autora (2021).

Em Theta, nos canais F4 e O1, foram registrados valores que correspondem ao mesmo esforço cognitivo para as duas etapas, com $p\text{-value} > 0.05$. Para os demais canais, um aumento dos valores em Theta e $p\text{-value} < 0.05$ para Elicitação das constantes de escala, significam um alto esforço cognitivo para essa etapa.

Por fim, a Tabela 29 apresenta os resultados da comparação entre a etapa de Ordenação das constantes de escala e Elicitação das constantes de escala (Etapa 2 x Etapa 4).

Tabela 29 – Comparação entre as etapas 2 e 4 do Tradeoff

Canal	Potência em Tetha
AF3	-
AF4	-
F3	Etapa 2 > Etapa 4
F4	Etapa 2 > Etapa 4
F7	-
F8	Etapa 2 > Etapa 4
FC5	Etapa 2 > Etapa 4
FC6	Etapa 2 > Etapa 4
O1	Etapa 2 > Etapa 4
O2	-
P7	Etapa 2 > Etapa 4
P8	Etapa 2 > Etapa 4
T7	Etapa 2 > Etapa 4

T8	-
----	---

Fonte: A Autora (2021).

Em Theta, nos canais AF3, AF4, F7, O2 e T8, foram registrados valores que correspondem ao mesmo esforço cognitivo para as duas etapas, com $p\text{-value} > 0,05$. Para os demais canais (F3, F4, F8, FC5, FC6, O1, P7, P8, T7), um aumento em Theta para etapa de Ordenação das constantes de escala e $p\text{-value} < 0,05$, significam um maior esforço cognitivo para essa etapa.

4.1.3.2 Resultados para o método FITradeoff

Para o presente estudo, foram analisadas amostras de 49 participantes do experimento com o método FITradeoff, comparando dados entre participantes que realizaram a mesma etapa. O experimento e o pré-processamento dos dados foram realizados por da Silva, Costa e De Almeida (2021). Os resultados da primeira comparação estão apresentados na Tabela 30. Nesse primeiro momento, a comparação é feita entre etapas adjacentes, que neste caso, as etapas de Ordenação das constantes de escala (Etapa 2) e Exploração do espaço de consequências (Etapa 3).

Tabela 30 - Comparação entre as etapas 2 e 3 o método FITradeoff

Canal	Potência em Theta
AF3	Etapa 2 < Etapa 3
AF4	Etapa 2 < Etapa 3
F3	Etapa 2 < Etapa 3
F4	Etapa 2 < Etapa 3
F7	Etapa 2 < Etapa 3
F8	Etapa 2 < Etapa 3
FC5	-
FC6	-
O1	-
O2	Etapa 2 < Etapa 3
P7	-
P8	-
T7	-
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Com base na Tabela 30, pode-se avaliar, por exemplo o comportamento do decisor entre as etapas de Ordenação das constantes de escala e Exploração do espaço de consequências (S2 x S3), nos canais FC5, FC6 O1, P7, P8, T7 e T8, o *p-value* > 0,05, indica o mesmo esforço cognitivo/grau de complexidade para as duas etapas. Para os demais canais, o *p-value* < 0,05, valores maiores de Tetha para exploração, significa que os decisores sentiram maior dificuldade/maior grau de complexidade na etapa de exploração.

A Tabela 31 refere-se aos resultados da análise comparativa entre as etapas de Exploração do espaço de consequências (Etapa 3) e a etapa de Elicitação das constantes de escala (Etapa 4).

Tabela 31 - Comparação entre as etapas 3 e 4 o método FITradeoff

Canal	Potência em Tetha
AF3	Etapa 3 < Etapa 4
AF4	Etapa 3 < Etapa 4
F3	-
F4	-
F7	-
F8	-
FC5	-
FC6	-
O1	-
O2	-
P7	-
P8	-
T7	Etapa 3 < Etapa 4
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Na comparação entre as etapas de Exploração do espaço de consequências x Elicitação das constantes de escala, o *p-value* < 0.05 é representado apenas nos canais AF3, AF4 e T7. Nesses, um aumento nos valores de Tetha foram identificados para etapa de Elicitação, o que significa que os decisores sentiram maior dificuldade/maior grau de complexidade na etapa de elicitação. Nos demais canais, o *p-value* > 0.05, indica o mesmo esforço cognitivo/grau de complexidade para as duas etapas.

Por fim, a Tabela 32 traz a comparação entre as etapas de Ordenação das constantes de escala e Elicitação das constantes de escala (Etapa 2 x Etapa 4).

Tabela 32 - Comparação entre as etapas 2 e 4 o método FITradeoff

Canal	Potência em Tetha
AF3	Etapa 2 < Etapa 4
AF4	Etapa 2 < Etapa 4
F3	Etapa 2 < Etapa 4
F4	Etapa 2 < Etapa 4
F7	Etapa 2 < Etapa 4
F8	Etapa 2 < Etapa 4
FC5	Etapa 2 < Etapa 4
FC6	Etapa 2 < Etapa 4
O1	Etapa 2 < Etapa 4
O2	Etapa 2 < Etapa 4
P7	Etapa 2 < Etapa 4
P8	Etapa 2 < Etapa 4
T7	Etapa 2 < Etapa 4
T8	Etapa 2 < Etapa 4

Fonte: A Autora (2021).

Verifica-se, da análise estatística, que todos os valores do *p-value* estão < 0.05 . E, em todos os canais, os valores de potência são maiores para a etapa da Elicitação das constantes de escala. Ou seja, valores maiores de Tetha para elicitación, significa que os decisores sentiram maior dificuldade/maior grau de complexidade na etapa de elicitación.

4.1.3.3 Resultados da análise comparativa entre o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff

O foco desta análise, por tratar-se de um estudo comparativo de aspectos comportamentais, são as etapas onde o decisor expressa suas preferências e, nesta seção, etapas em comum aos dois métodos. Após a interseção entre os participantes que passaram pelas mesmas etapas, seja com o procedimento Tradeoff ou com o método FITradeoff, a Tabela 33 traz os resultados das análises dos experimentos, para etapa de Ordenação das constantes de escala.

Tabela 33 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de ordenação

Canal	Potência em Tetha
AF3	Tradeoff > FITradeoff
AF4	Tradeoff > FITradeoff
F3	Tradeoff > FITradeoff

F4	Tradeoff > FITradeoff
F7	Tradeoff > FITradeoff
F8	Tradeoff > FITradeoff
FC5	Tradeoff > FITradeoff
FC6	Tradeoff > FITradeoff
O1	Tradeoff > FITradeoff
O2	Tradeoff > FITradeoff
P7	Tradeoff > FITradeoff
P8	Tradeoff > FITradeoff
T7	Tradeoff > FITradeoff
T8	Tradeoff > FITradeoff

Fonte: A Autora (2021).

Para a etapa de Ordenação das constantes de escala (Etapa 1), uma variação significativa foi observada para todos os canais. Os dados de potência coletados do experimento realizado com o procedimento Tradeoff geraram valores maiores em Theta, quando comparados aos valores de potência obtidos do experimento com a utilização do método FITradeoff, indicando aumento do esforço cognitivo na análise com o Tradeoff.

A Tabela 34, representa os resultados para a etapa de Exploração do espaço de consequências (Etapa 2).

Tabela 34 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de exploração

Canal	Potência em Tetha
AF3	Tradeoff > FITradeoff
AF4	Tradeoff > FITradeoff
F3	Tradeoff > FITradeoff
F4	Tradeoff > FITradeoff
F7	Tradeoff > FITradeoff
F8	Tradeoff > FITradeoff
FC5	Tradeoff > FITradeoff
FC6	Tradeoff > FITradeoff
O1	Tradeoff > FITradeoff
O2	Tradeoff > FITradeoff
P7	Tradeoff > FITradeoff
P8	Tradeoff > FITradeoff

T7	Tradeoff > FITradeoff
T8	Tradeoff > FITradeoff

Fonte: A Autora (2021).

Para maior parte dos canais, a diferença estatística encontrada e a variação observada nos valores de potência, sendo esses maiores e Theta para o procedimento Tradeoff, significa que os decisores apresentaram maior esforço cognitivo ao utilizar o procedimento. Os resultados para a etapa de Elicitação das constantes de escala, são ilustrados através da Tabela 35.

Tabela 35 – Comparação entre o Tradeoff e o FITradeoff, etapa de elicitação

Canal	Potência em Theta
AF3	Tradeoff > FITradeoff
AF4	Tradeoff > FITradeoff
F3	Tradeoff > FITradeoff
F4	-
F7	Tradeoff > FITradeoff
F8	Tradeoff > FITradeoff
FC5	Tradeoff > FITradeoff
FC6	-
O1	Tradeoff > FITradeoff
O2	-
P7	Tradeoff > FITradeoff
P8	-
T7	Tradeoff > FITradeoff
T8	-

Fonte: A Autora (2021).

Considerando a etapa de Elicitação das constantes de escala dos critérios (Etapa 3), para uma vasta quantidade de canais, entre as amostras dos valores de potência cerebral foram identificadas diferenças estatísticas, ou seja, as amostras diferem entre si. Sendo as amostras diferentes, avalia-se para qual grupo de amostra os valores são maiores em Theta. Comparando os dados do Tradeoff com o FITradeoff, observou-se que para o procedimento Tradeoff, os valores apresentam um aumento, o que pode indicar maior esforço cognitivo ao utilizar o procedimento e, por consequência, uma redução do esforço cognitivo com o método FITradeoff. Dessa forma, na banda de frequência Theta, pode ser indicado um menor esforço cognitivo durante a elicitação com o método FITradeoff.

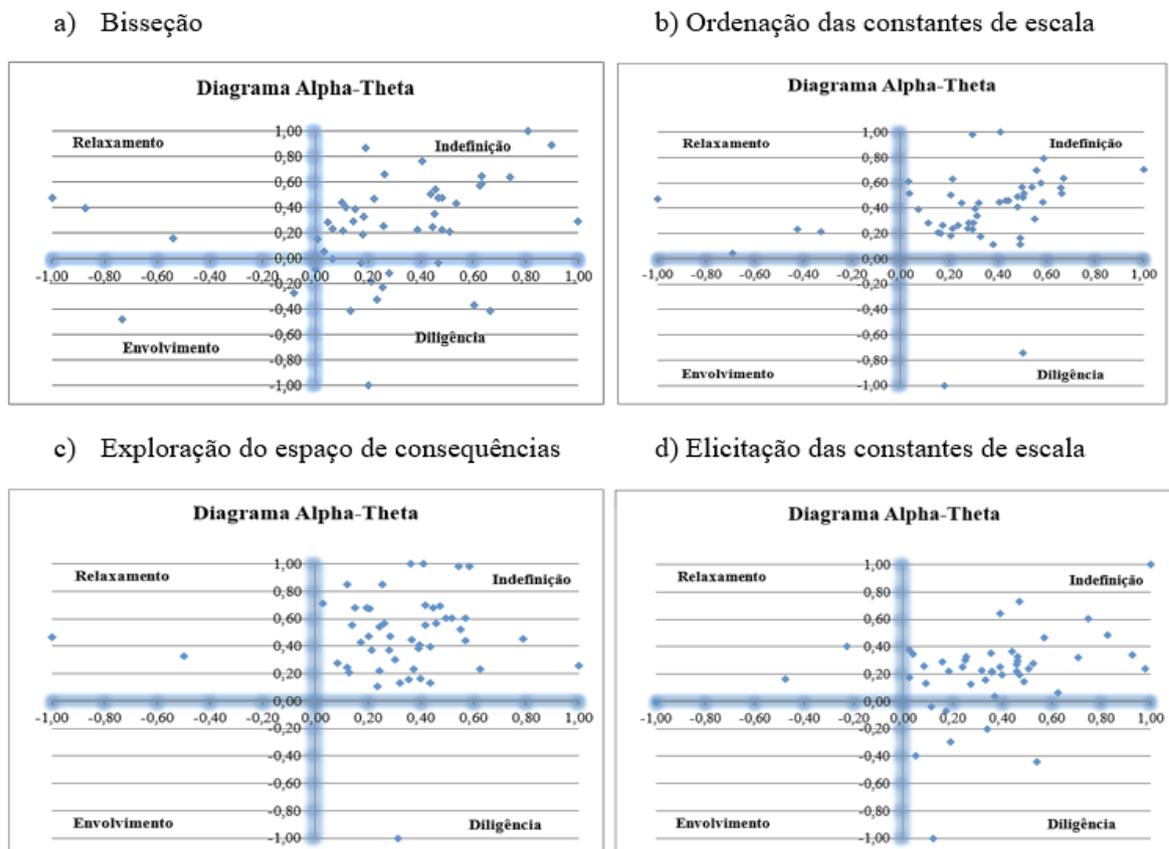
4.2 ANÁLISES COM O DIAGRAMA ALPHA-THETA

Conforme relatado no Capítulo 2, os estudos sugerem que um valor mais alto para banda Theta, nos canais frontais, podem indicar uma maior dificuldade nas operações mentais e um maior grau de complexidade. Roselli e de Almeida (2022) relatam que uma redução dos valores de potência cerebral para banda Alpha, na região parietal pode ser uma indicação de atividade mental e engajamento. Por isso, foi desenvolvida uma análise através do Diagrama Alpha-Theta para relacionar os valores de potência nas bandas de frequência Alpha e Theta, identificando padrões de comportamento baseados em engajamento e esforço cognitivo de decisores ao longo das etapas de elicitação de preferências.

4.2.1 Diagrama Alpha-Theta para etapas do Tradeoff

Com o objetivo de identificar padrões de comportamento e assim, avaliar o esforço cognitivo dos decisores ao utilizar o SAD do Tradeoff para solucionar um problema decisório, o Diagrama Alpha Theta foi desenvolvido a partir dos dados de todos os participantes do experimento com o Tradeoff, agregando em um único diagrama, o comportamento para todas as etapas do procedimento. A Figura 10 ilustra estes resultados:

Figura 10 - Diagrama Alpha-Theta para etapas do Tradeoff



Fonte: A Autora (2021).

Para esta análise foram considerados os valores de Theta e Alpha coletados de dados neurofisiológicos de cada um dos participantes ao realizarem o processo decisório em todas as etapas do procedimento Tradeoff, para investigar se padrões de comportamento se mantinham ao longo do experimento. O Diagrama apresenta o comportamento de 50 participantes distribuídos em todos os quadrantes. Pode-se observar que alguns participantes apresentaram padrão de comportamento Diligente no início do experimento, ainda na etapa da Bisseção, mas isso não se mantém nas etapas seguintes.

4.2.2 Diagrama Alpha-Theta para participantes do Tradeoff

Visando investigar quais padrões de comportamento dos participantes eram observados durante a elicitação por decomposição com o procedimento Tradeoff, os diagramas de quadrante Alpha-Theta foram desenvolvidos com os valores de Theta e Alpha obtidos para todos os participantes durante o experimento. Para esta análise, foram considerados os participantes onde foi possível capturar os dados de potência em Theta (canal F3) e Alpha (canal P7) com qualidade e, que realizaram todas as etapas do procedimento.

Não serão apresentados todos diagramas desenvolvidos devido a extensa quantidade de participantes do experimento, porém, o Quadro 6 sintetiza todas as informações do padrão de comportamento dos participantes para cada etapa. Quando o sinal (-) é apresentado no Quadro, significa que o participante não passou para esta etapa, tendo finalizado o processo decisório na etapa anterior onde está identificado um comportamento.

Quadro 6 – Padrão de comportamento dos participantes para cada etapa do Tradeoff

Participante	Bisseção	Ordenação	Exploração	Elicitação
Usuário 1	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 2	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 3	Diligência	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 4	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 5	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 6	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 7	Diligência	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 8	Diligência	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 9	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Relaxamento
Usuário 10	Relaxamento	Relaxamento	Relaxamento	Indefinição
Usuário 11	Indefinição	Diligência	Indefinição	Indefinição

Usuário 12	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 13	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Diligência
Usuário 14	Indefinição	Relaxamento	Indefinição	Indefinição
Usuário 15	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 16	Diligência	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 17	Diligência	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 18	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 19	Diligência	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 20	Indefinição	Diligência	Indefinição	Indefinição
Usuário 21	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 22	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 23	Envolvimento	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 24	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 25	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 26	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 27	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Diligência
Usuário 28	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 29	Diligência	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 30	Diligência	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 31	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Diligência
Usuário 32	Envolvimento	Indefinição	Relaxamento	Indefinição
Usuário 33	Relaxamento	Relaxamento	Indefinição	Diligência
Usuário 34	Diligência	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 35	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 36	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Envolvimento
Usuário 37	Diligência	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 38	Relaxamento	Indefinição	Indefinição	Diligência
Usuário 39	Indefinição	Relaxamento	Indefinição	Indefinição
Usuário 40	Diligência	Indefinição	Indefinição	Diligência
Usuário 41	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 42	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 43	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 44	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 45	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Relaxamento
Usuário 46	Diligência	Indefinição	Indefinição	Indefinição

Usuário 47	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 48	Indefinição	Indefinição	Indefinição	Diligência
Usuário 49	Indefinição	Indefinição	Diligência	-
Usuário 50	Indefinição	Indefinição	-	-

Fonte: A Autora (2021).

Na mesma perspectiva da descrição anterior, a Tabela 36 apresenta uma síntese com o percentual do comportamento dos participantes para cada etapa.

Tabela 36 – Percentual do padrão de comportamento dos participantes para cada etapa do Tradeoff

Quadrantes	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Indefinição	66%	88%	94%	79%
Diligência	24%	4%	2%	15%
Envolvimento	4%	0%	0%	2%
Relaxamento	6%	8%	4%	4%

Fonte: A Autora (2021).

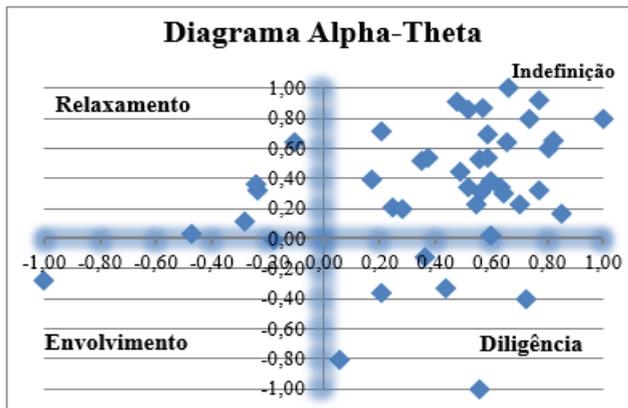
Pode-se aferir a partir das informações da Tabela 36 que para a maioria dos participantes um padrão de comportamento foi seguido durante todo o experimento, estando na maioria das etapas localizadas predominantemente em um mesmo quadrante. Sendo esse, o padrão de comportamento de Indefinição durante todas as etapas do experimento com o Tradeoff. Para Etapa 1, 66% dos participantes apresentaram o comportamento de Indefinição. Para Etapa 2 88%, Etapa 3 com 94% e Etapa 4 com 79%. Por outro lado, para o comportamento de Diligência, o maior percentual de participantes diligentes foi na Etapa 1, com apenas 24%. Esses resultados podem indicar que os participantes não estavam bem comprometidos com o processo. No próximo item, serão exemplificados os padrões de comportamento individuais para cada participante.

4.2.3 Diagrama Alpha-Theta para etapas do FITradeoff

O diagrama de quadrantes Alpha-Theta foi aplicado para analisar quatro padrões de comportamento dos participantes para as etapas investigadas no experimento, cada um dos quadrantes representa um comportamento. Todos os diagramas desenvolvidos para cada uma das etapas, são apresentados na Figura 11 e ao lado de cada diagrama, o resumo de cada comportamento e seu respectivo percentual dentre os participantes do experimento.

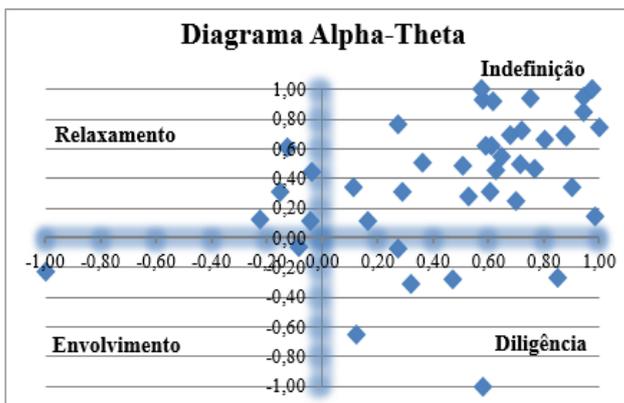
Figura 11 - Diagrama Alpha-Theta para etapas do FITradeoff

a) Ordenação das constantes de escala



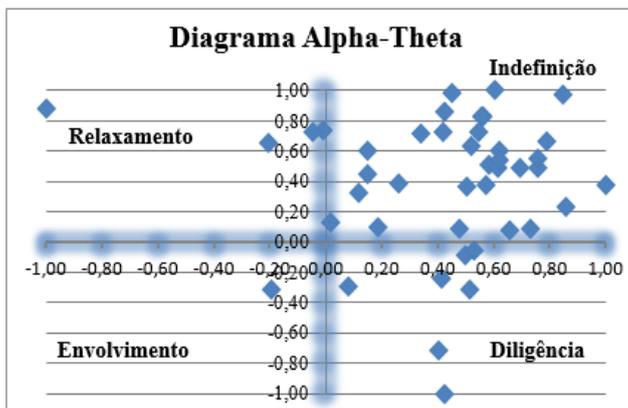
Indefinição	35	73%
Diligência	5	10%
Envolvimento	2	4%
Relaxamento	6	13%

b) Exploração do espaço de consequências



Indefinição	35	73%
Diligência	5	10%
Envolvimento	2	4%
Relaxamento	6	13%

c) Elicitação flexível



Indefinição	31	72%
Diligência	7	16%
Envolvimento	1	2%
Relaxamento	4	9%

Fonte: A Autora (2021).

Os resultados apresentam que, para a maioria dos participantes, uma média de 71%, um padrão de comportamento foi seguido durante todas as etapas avaliadas do experimento, estando a maioria dos resultados de potência cerebral localizadas predominantemente no quadrante superior direito. Esse quadrante representa o comportamento nomeado como Indefinição, sendo este caracterizado por um alto esforço cognitivo, valor positivo para Theta e, baixo engajamento, valor positivo para Alpha.

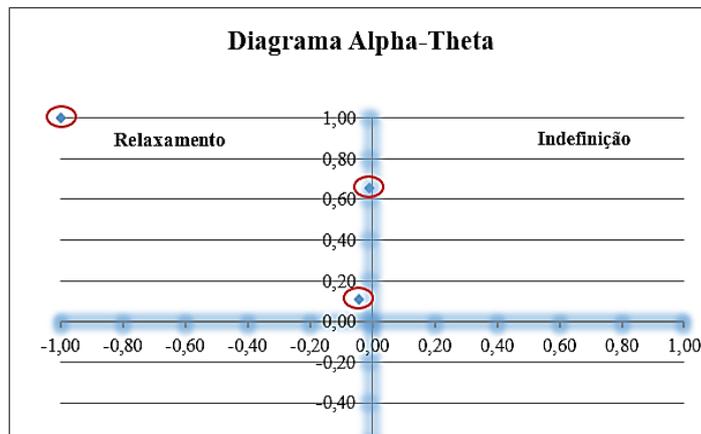
Para uma média de 14% dos participantes, o comportamento foi de Diligência, e para 4%, de Envolvimento. Esse percentual indica, conjuntamente, que uma média de 18% dos participantes apresentaram os comportamentos esperados (Diligência e Envolvimento) durante as etapas do procedimento de elicitación de preferências como método FITradeoff.

4.2.4 Diagrama Alpha-Theta para os participantes do FITradeoff

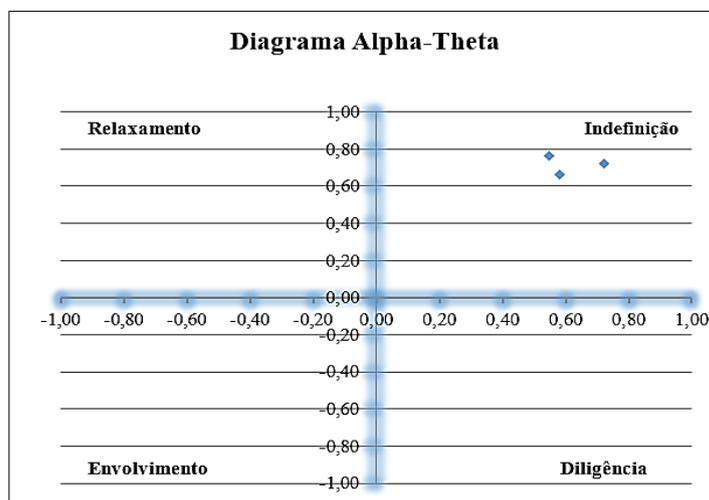
Nesse contexto, visando investigar se padrões de comportamento observados durante a elicitación de preferências com o FITradeoff variava para cada participante, diagramas de quadrante Alpha-Theta foram desenvolvidos. Em seguida, foram selecionados participantes que apresentaram padrões de comportamento distintos para exemplificar características destes, conforme a Figura 12, que ilustra o padrão de comportamento dos participantes 4, 17, 23 e 33 respectivamente. Em cada quadrante, onde cada ponto no quadrante representa uma etapa (ordenação das constantes de escala, exploração do espaço de consequências e elicitación das constantes de escala) para cada participante.

Figura 12 – Padrão de comportamento de participantes distintos utilizando FITradeoff

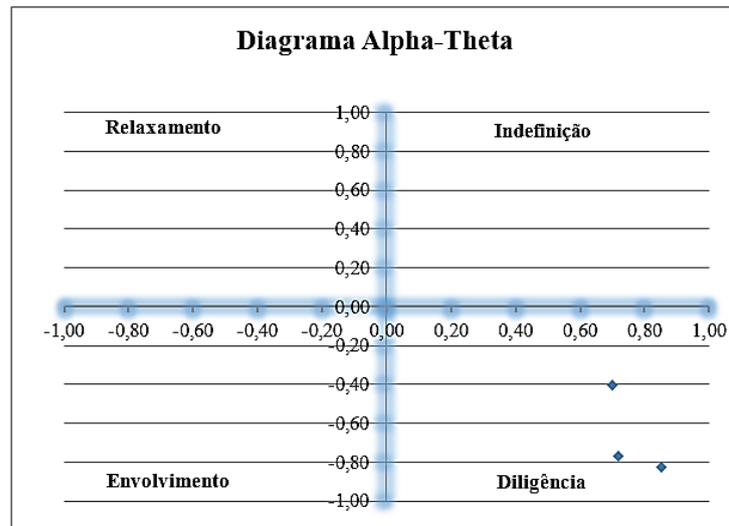
Participante n° 4



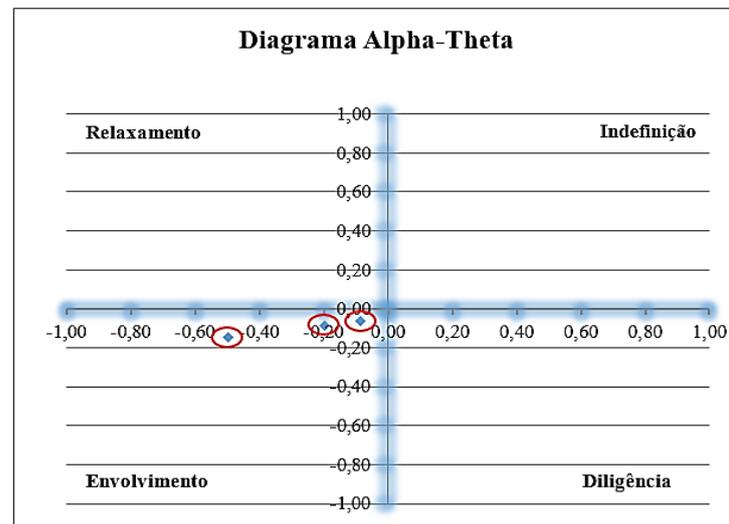
Participante n° 17



Participante n° 23



Participante n° 33



Fonte: A Autora (2021).

Com base nos diagramas de quadrantes Alpha-Theta construídos para cada um dos tipos de visualização, apresentados no item anterior, o Quadro 7 foi construído para sintetizar as informações sobre a quantidade de participantes que apresentaram um dado comportamento durante a realização do experimento com o FITradeoff. Quando o sinal (-) é apresentado no Quadro, significa que o participante não passou para esta etapa, tendo finalizado o processo decisório na etapa anterior onde está identificado um comportamento.

Quadro 7 – Padrão de comportamento dos participantes para cada etapa do FITradeoff

Participantes	Ordenação	Exploração	Elicitação
Usuário 1	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 2	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 3	Indefinição	Relaxamento	Indefinição
Usuário 4	Relaxamento	Relaxamento	Relaxamento

Usuário 5	Relaxamento	Indefinição	Relaxamento
Usuário 6	Indefinição	Relaxamento	Indefinição
Usuário 7	Relaxamento	Indefinição	Relaxamento
Usuário 8	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 9	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 10	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 11	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 12	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 13	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 14	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 15	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 16	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 17	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 18	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 19	Relaxamento	Relaxamento	Indefinição
Usuário 20	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 21	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 22	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 23	Diligência	Diligência	Diligência
Usuário 24	Diligência	Diligência	Diligência
Usuário 25	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 26	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 27	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 28	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 29	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 30	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 31	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 32	Diligência	Diligência	Diligência
Usuário 33	Envolvimento	Envolvimento	Envolvimento
Usuário 34	Diligência	Diligência	Diligência
Usuário 35	Relaxamento	Relaxamento	Envolvimento
Usuário 36	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 37	Envolvimento	Envolvimento	Envolvimento
Usuário 38	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 39	Indefinição	Indefinição	-

Usuário 40	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 41	Diligência	Diligência	Diligência
Usuário 42	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 43	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 44	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 45	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 46	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 47	Indefinição	Indefinição	Indefinição
Usuário 48	Relaxamento	Relaxamento	Indefinição

Fonte: A Autora (2021).

Na mesma perspectiva da descrição anterior, a Tabela 37 apresenta uma síntese com o percentual do comportamento dos participantes para cada etapa.

Tabela 37 – Percentual do padrão de comportamento dos participantes para cada etapa do FITradeoff

Quadrantes	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Indefinição	73%	73%	74%
Diligência	10%	10%	12%
Envolvimento	4%	4%	7%
Relaxamento	13%	13%	7%

Fonte: A Autora (2021).

Com base na Tabela 37 é possível perceber que a maioria dos participantes teve comportamento de Indefinição, resultado coerente com a análise análoga apresentada, a qual foi desenvolvida para investigar o comportamento que cada participante, individualmente, apresentou durante a realização do experimento. Ainda com base nesta tabela foi possível constatar que o percentual dos participantes com os comportamentos de diligência e envolvimento foi uma média de 7% e 5%, respectivamente, sugerindo que estes comportamentos estiveram presentes em baixo percentual durante as análises desenvolvidas.

Os resultados sugerem que, para a maioria dos participantes, uma média de 71%, um padrão de comportamento foi seguido durante todas as etapas avaliadas do experimento, estando a maioria dos resultados de potência cerebral localizadas predominantemente no quadrante superior direito. Esse quadrante representa o comportamento nomeado como Indefinição, sendo este caracterizado por um alto esforço cognitivo, valor positivo para Theta e, baixo engajamento, valor positivo para Alpha.

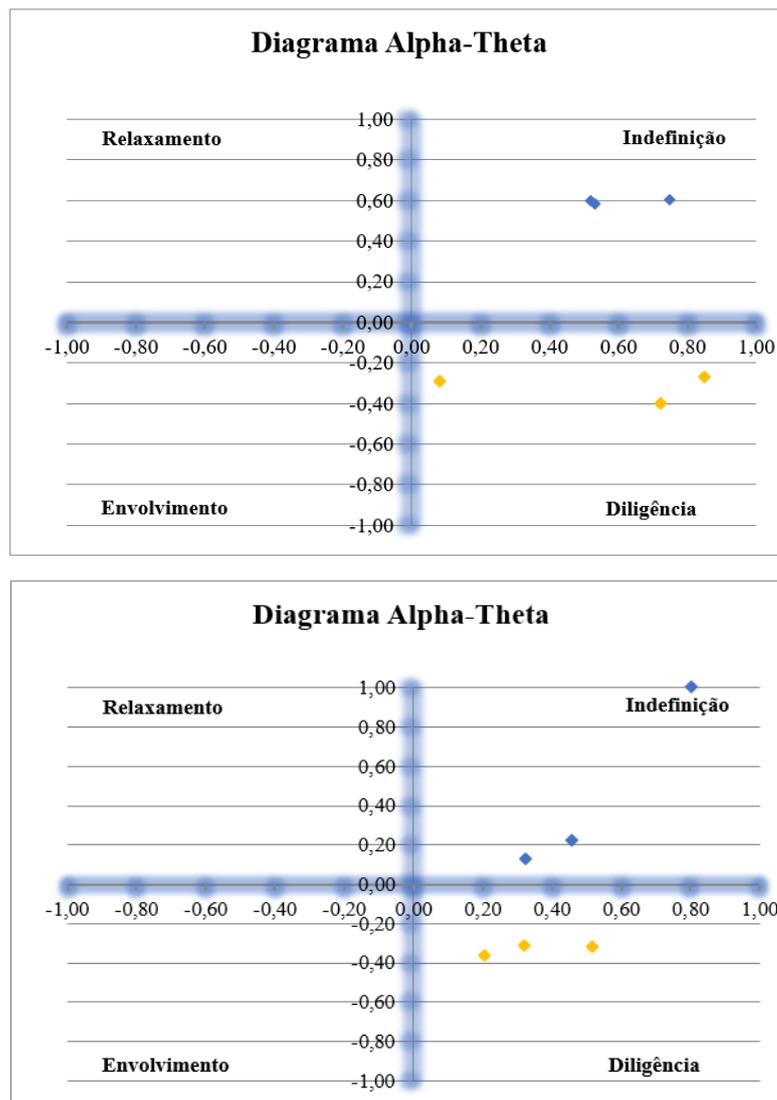
Além do citado anteriormente, pode-se observar que apenas seis participantes não mantiveram o mesmo comportamento durante o processo decisório com o FITradeoff. Nestes

casos, o padrão de comportamento em cada etapa para esses participantes, variava entre Relaxamento e Indefinição.

4.2.5 Diagrama Alpha-Theta comparativo entre o Tradeoff e o FITradeoff

O diagrama alpha-theta para três participantes foram desenvolvidos para exemplificar as diferenças entre o comportamento dos decisores durante os experimentos com o Tradeoff e com o FITradeoff e serão avaliados a seguir. Todos estes participantes estiveram nos dois experimentos, resolvendo um problema de decisão próprio com o procedimento Tradeoff e com o método FITradeoff. A Figura 13 ilustra o diagrama para os participantes número 15 e 49, onde cada ponto no quadrante representa uma etapa (ordenação das constantes de escala, exploração do espaço de consequências e elicitação das constantes de escala) para cada participante.

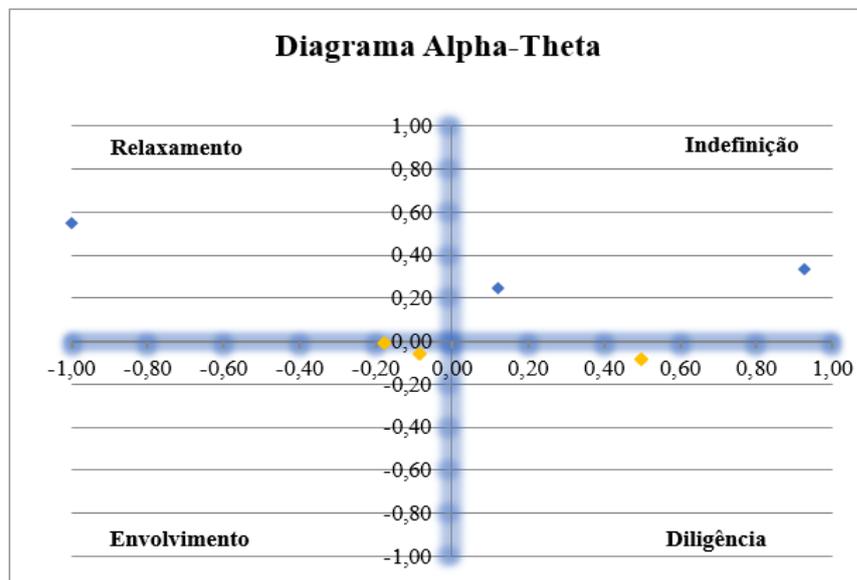
Figura 13 – Diagrama Alpha-Theta para os participantes nº 15 e nº 49



Fonte: A Autora (2021).

Destacados em azul, estão os pontos que representam o comportamento dos participantes durante a elicitacão com o procedimento Tradeoff,   possível observar um comportamento de indefinio para todas as etapas pois todos os pontos azuis estão no quadrante do comportamento de indefinio. Por outro lado, quando os participantes realizaram a elicitacão com o método FITradeoff, o comportamento foi representado por pontos no quadrante referente a diligência, destacados na cor laranja. Esse quadrante inferior esquerdo apesar de indicar alto esforço cognitivo, representa também um maior engajamento do que no quadrante de indefinio. A Figura 14 ilustra outro exemplo, com os dados do participante número 31 plotados no diagrama:

Figura 14 – Diagrama Alpha-Theta para o participante n  31



Fonte: A Autora (2021).

Da mesma forma, foram destacados em azul os pontos que representam o comportamento do participante n  31 durante a elicitacão com o procedimento Tradeoff,   possível observar um comportamento de relaxamento para uma etapa e indefinio para as demais pois os pontos estão plotados nestes quadrantes (Relaxamento e Indefinio). Já quando o participante realizou a elicitacão com o método FITradeoff, o comportamento foi representado por pontos no quadrante referente a Envolvimento e Diligência, destacados na cor laranja. Estes quadrantes (Envolvimento e Diligência) representam pontos onde os dados coletados, quando plotados no Diagrama podem indicar baixo esforço cognitivo e também um maior engajamento.

A seguir, serão apresentados os resultados do Diagrama Alpha-Theta para todos os participantes, sendo um quadro para cada etapa, comparando a elicitacão com o procedimento Tradeoff e com o método FITradeoff. O Quadro 8 apresenta os resultados para a etapa de Ordenao das constantes de escala dos critérios. A primeira coluna corresponde a cada

participante, a segunda ao comportamento identificado com o Diagrama quando os participantes realizaram a elicitacão com o Tradeoff, a terceira coluna corresponde ao comportamento identificado quando os participantes realizaram a elicitacão com o FITradeoff e a quarta coluna mostra para qual método foi identificado melhor comportamento.

Quadro 8 – Padrão de comportamento dos participantes para etapa de ordenaco

tapa de ordenaco das constantes de escala			
Participante	Tradeoff	Fitradeoff	Melhor comportamento
Usuário 1	Indefinio	Indefinio	-
Usuário 15	Indefinio	Diligência	FITradeoff
Usuário 19	Indefinio	Diligência	FITradeoff
Usuário 20	Diligência	Indefinio	Tradeoff
Usuário 21	Indefinio	Indefinio	-
Usuário 26	Indefinio	Relaxamento	FITradeoff
Usuário 28	Indefinio	Indefinio	-
Usuário 29	Indefinio	Indefinio	-
Usuário 31	Indefinio	Envolvimento	FITradeoff
Usuário 32	Indefinio	Indefinio	-
Usuário 34	Indefinio	Indefinio	-
Usuário 38	Indefinio	Diligência	FITradeoff
Usuário 39	Relaxamento	Indefinio	Tradeoff
Usuário 43	Indefinio	Diligência	FITradeoff
Usuário 44	Indefinio	Indefinio	-
Usuário 46	Indefinio	Indefinio	-
Usuário 49	Indefinio	Relaxamento	FITradeoff

Fonte: A Autora (2021).

Para etapa de ordenaco das constantes de escala, observa-se que para uma quantidade considerável de participantes, o comportamento muda de um procedimento para outro. Por exemplo, o usuário 31, apresentou indefinio como comportamento quando do uso do procedimento Tradeoff, já o comportamento quando o mesmo realizou a elicitacão com o FITradeoff,  de envolvimento. O Quadro 9 apresenta os resultados para a etapa de Explorao do espaço de consequências.

Quadro 9 – Padrão de comportamento dos participantes para etapa de explorao

Explorao do espaço de consequências			
Participante	Tradeoff	Fitradeoff	Melhor comportamento
Usuário 1	Indefinio	Indefinio	-

Usuário 15	Indefinição	Diligência	FITradeoff
Usuário 19	Indefinição	Diligência	FITradeoff
Usuário 20	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 21	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 26	Indefinição	Relaxamento	FITradeoff
Usuário 28	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 29	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 31	Indefinição	Envolvimento	FITradeoff
Usuário 32	Relaxamento	Indefinição	Tradeoff
Usuário 34	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 38	Indefinição	Diligência	FITradeoff
Usuário 39	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 43	Indefinição	Diligência	FITradeoff
Usuário 44	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 46	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 49	Diligência	Relaxamento	Tradeoff

Fonte: A Autora (2021).

Para etapa de exploração do espaço de consequências, observa-se que para uma grande quantidade de decisores que participaram dos experimentos, o comportamento é diferente. Por exemplo, o usuário 43, apresentou indefinição como comportamento quando do uso do procedimento Tradeoff, já o comportamento quando o mesmo realizou a elicitação com o FITradeoff, é de diligência. O Quadro 10 apresenta os resultados para a etapa de Ordenação/Elicitação das constantes de escala.

Quadro 10 – Padrão de comportamento dos participantes para etapa de elicitação

Elicitação das constantes de escala			
Participante	Tradeoff	Fitradeoff	Melhor comportamento
Usuário 1	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 15	Indefinição	Diligência	FITradeoff
Usuário 19	Indefinição	Diligência	FITradeoff
Usuário 20	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 21	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 26	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 28	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 29	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 31	Diligência	Envolvimento	Tradeoff

Usuário 32	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 34	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 38	Diligência	Diligência	Tradeoff
Usuário 39	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 43	Indefinição	Diligência	FITradeoff
Usuário 44	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 46	Indefinição	Indefinição	-
Usuário 49	Indefinição	Envolvimento	FITradeoff

Fonte: A Autora (2021).

Para etapa de elicitación das constantes de escala, observa-se que para uma quantidade menor de participantes, o comportamento muda de um procedimento para outro, mas ainda assim, são verificadas diferenças que podem ser consideradas para análise. Por exemplo, os usuários 15, 19 e 43, apresentaram indefinição como comportamento quando do uso do procedimento Tradeoff, já o comportamento quando os mesmos participantes realizaram a elicitación com o FITradeoff é de diligência. Para o usuário 49, ao utilizar o Tradeoff, os dados do diagrama demonstraram comportamento de indefinição durante a elicitación e quando o mesmo usuário realizou a elicitación com o FITradeoff, o seu comportamento foi de envolvimento.

4.3 RESULTADOS DO ÍNDICE DE ENGAJAMENTO POPE

A Tabela 38 apresenta dos valores do PI para cada participante do experimento, representados pelas linhas e, para cada etapa da elicitación das constantes de escala, representados pelas colunas. Em cada bloco de uma etapa (ordenação, exploração e elicitación) são comparados o Tradeoff com o FITradeoff. Nas linhas dentro da Tabela 38, estão os dados de índice POPE para cada participante, em cada etapa da elicitación de preferências com o Tradeoff e o FITradeoff.

Tabela 38 – Síntese dos resultados para o POPE index

Ordenação		Exploração		Elicitación	
Tradeoff	FITradeoff	Tradeoff	FITradeoff	Tradeoff	FITradeoff
0,623	0,695	0,592	0,546	1,028	14,509
0,858	0,986	0,829	0,931	0,754	1,031
0,266	0,782	0,622	1,166	0,253	1,636
0,618	0,936	1,193	0,567	0,689	0,364
1,009	0,907	1,264	0,633	0,902	0,515

0,817	0,680	0,482	0,709	0,082	0,953
0,660	0,637	0,789	0,523	0,292	94,901
1,844	0,616	1,521	0,534	0,456	0,255
1,108	1,133	1,123	1,380	0,968	0,343
0,871	0,905	0,878	0,756	1,215	27,077
0,931	0,569	0,537	0,655	0,728	1,199
0,629	1,211	0,336	1,127	0,326	0,878
1,373	0,955	0,601	0,864	0,819	2,493
0,788	0,686	0,665	0,470	0,529	3,668
1,990	1,214	1,054	1,091	0,482	0,765
0,693	0,810	0,521	0,648	0,413	6,225
0,752	0,806	0,489	0,740	0,392	0,405
0,815	0,801	0,659	0,852	0,311	20,570
0,667	0,982	0,599	0,980	0,675	2,472
0,778	0,510	0,349	0,528	0,319	2,387
0,350	1,349	0,791	0,886	1,381	1,939
0,495	0,816	0,998	0,918	0,475	2,501
0,589	0,879	0,753	0,835	0,804	0,330
0,311	0,585	0,557	0,475	0,884	1,912
0,297	0,880	0,448	0,872	0,530	1,528
1,401	0,520	1,038	0,437	0,805	0,772
0,953	0,718	1,020	0,679	0,787	2,734
1,186	0,888	0,978	0,704	1,813	9,634
0,767	1,213	0,663	1,234	0,557	0,708
p-value = 0.2798		p-value = 0.5135		p-value = 0,00005	

Fonte: A Autora (2021).

A Tabela 38 também ilustra o resultado do teste não paramétrico de Postos Sinalizados de Wilcoxon (*Wilcoxon Signed Rank Test*), com $\alpha = 5\%$, na última linha da tabela. Esse teste foi utilizado por não exigir a conformidade com a distribuição normal para os valores de potência cerebral. O teste estatístico foi aplicado para todas as situações comparativas descritas no parágrafo anterior, para verificar se o índice de engajamento POPE dos dois grupos de participantes dos experimentos era similar ou não e, caso não fossem, em qual dos grupos obtiveram um maior valor do índice. Um maior valor do índice POPE pode indicar maior engajamento do decisor.

Com base nos resultados, observa-se que para as etapas de ordenação das constantes de escala dos critérios e exploração do espaço de consequências, verifica-se, com base nas análises estatísticas, que os dados se comportam de maneira assimétrica. Porém, na etapa de elicitação das constantes de escala dos critérios, é observada uma diferença significativa entre as duas amostras, sendo que os valores de PI são maiores para os participantes durante a elicitação com o método FITradeoff, o que pode indicar um maior engajamento dos participantes dos experimentos ao utilizar o método.

4.4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Este tópico tem como objetivo apresentar uma discussão crítica com relação aos resultados obtidos das análises comparativas.

4.4.1 Análises dos dados de potência cerebral para cada canal do EEG

A abordagem de neurociência em decisão, fornece ferramentas que possibilitam a aplicação em estudos sobre o processo de tomada de decisão, permitindo aprofundar o conhecimento na área e fornecer valiosos *insights*. No presente estudo, foram avaliados os aspectos cognitivos relacionados ao processo de elicitação de preferências por meio do procedimento Tradeoff e do método FITradeoff, ambos implementados em um SAD. Dados de ondas cerebrais e realizadas comparações dessas informações para reações dos participantes ao utilizarem os SADs para etapas adjacentes de forma individual para cada método, bem como a comparação entre eles.

Das análises dos resultados para etapas adjacentes do procedimento Tradeoff, ao comparar a etapa de avaliação intracritério através do método da bisseção com a etapa da ordenação das constantes de escala dos critérios, o aumento observado nos valores de potência cerebral em todas as bandas de frequência durante a etapa de ordenação, pode indicar um maior esforço cognitivo dos decisores para a etapa da ordenação e um maior engajamento na etapa da avaliação intracritério.

A explanação anterior pode ser explicada pelo fato de que a etapa de avaliação intracritério pelo método da bisseção, que exige a identificação de pontos de indiferença (BELTON; STEWART, 2002) e demanda maior esforço cognitivo por parte do decisor. Portanto, o decisor passa para a etapa seguinte de ordenação das constantes de escala dos critérios cognitivamente mais cansado, o que demanda um maior esforço para realizar a tarefa de ordenação, embora esta etapa não solicite muitas perguntas.

Entre as etapas de ordenação das constantes de escala dos critérios e exploração do espaço de consequências, para a maioria dos canais, os resultados podem indicar o mesmo esforço cognitivo e o mesmo engajamento por parte dos decisores para as duas etapas. Com relação ao comparativo da etapa de exploração do espaço de consequências com a de elicitación das constantes de escala, verifica-se mais engajamento do decisor para etapa de elicitación e maior esforço cognitivo para etapa de exploração. Entre as etapas avaliação intracritério pelo método da bisseção e elicitación das constantes de escala, os dados podem indicar maior engajamento ao realizar a etapa de avaliação intracritério e maior esforço cognitivo ao realizar a etapa da elicitación.

Comparando as etapas de ordenação das constantes de escala dos critérios com a etapa de elicitación, nota-se o decréscimo nos valores de potência em Alpha para etapa de elicitación, que corresponde a um maior engajamento ou maior atividade mental nessa etapa. Com relação ao esforço cognitivo, os resultados sugerem que para etapa de ordenação os valores apresentam um aumento, sugerindo maior demanda cognitiva para essa etapa.

Para os resultados relacionados ao procedimento Tradeoff, estes indicam que em comparações onde se trata da etapa de avaliação intracritério pelo método da bisseção ou de elicitación das constantes de escala, etapas essas onde o participante deve responder questões de preferência até que seja encontrado o ponto de indiferença, é exatamente as etapas onde se verifica maior atividade mental de baixo engajamento e alto esforço cognitivo. Vale salientar que a etapa de avaliação intracritério com o método da bisseção foi desenvolvido para o experimento tratado nesta pesquisa e pode influenciar demais resultados devido ao esforço cognitivo exigido durante a tarefa de definir pontos de indiferença com o método da bisseção. O decisor pode ter encerrado a etapa de avaliação intracritério cansado, comprometendo o engajamento para as demais etapas, o que resultou em um aumento nos valores de potência cerebral.

Com relação ao método FITradeoff, na análise dos resultados entre etapas adjacentes, os valores podem indicar uma maior demanda cognitiva do decisor, nas etapas de Exploração do espaço de consequências e Elicitación das constantes de escala. Na etapa de Ordenação das constantes de escala dos critérios, os resultados demonstram valores que podem representar alto engajamento do decisor durante essa etapa. A comparação dos valores de potência cerebral entre as etapas de elicitación com o FITradeoff podem indicar que os decisores mantêm o engajamento durante o processo decisório com o método. Sendo assim, o esforço cognitivo por parte do decisor, se mantém praticamente estável durante todo o processo com o FITradeoff,

isso pode ser justificado pelo fato de que o método trabalha com informações parciais e, portanto, durante o experimento as informações preferenciais eram de mesma natureza.

No que se refere ao comportamento dos decisores quando comparados os dados neurofisiológicos ao executar as mesmas etapas de elicitação por decomposição com o procedimento Tradeoff e com o método FITradeoff, nas etapas de Ordenação das constantes de escala dos critérios e Exploração do espaço de consequências, os dados analisados podem indicar um maior engajamento e um menor esforço cognitivo quando do uso do método FITradeoff. Para a etapa de Elicitação das constantes de escala, para a maioria dos canais que estão diretamente relacionados ao processo de tomada de decisão, como os canais frontais, foi observado um aumento nos valores de potência cerebral para a banda Theta, o que pode sugerir que o método FITradeoff pode fornecer uma experiência que demanda um menor esforço cognitivo do decisor.

Somando esses achados com o fato de que as etapas citadas são importantes para a definição do espaço de pesos, para a busca de uma solução pelo SAD, bem como para a avaliação de inconsistências, afere-se que o apoio ao decisor deve ser oferecido durante essas etapas. Esse suporte pode ser oferecido pelo analista em decisão, um dos atores do processo de tomada de decisão ou pelo próprio SAD, disponibilizando mais ferramentas e informações para orientar o decisor e minimizar o risco de inconsistências nas informações por ele prestadas.

4.4.2 Análises dos resultados com o Diagrama Alpha-Theta

Com relação às análises dos resultados do Diagrama para o padrão de comportamento dos participantes para cada etapa do Tradeoff, também é possível verificar a mudança no padrão de comportamento de alguns participantes durante o decorrer das etapas do procedimento, quando por exemplo, 24% estiveram com o padrão Diligente na Etapa 1 e, em seguida, para as Etapas 2 e 3, apenas 4% e 2% respectivamente, estavam com esse padrão de comportamento. O mesmo acontece para o padrão Envolvimento, quando 4% dos participantes estavam nesse quadrante durante a primeira Etapa do Tradeoff, mas, não permaneceram nas demais, visto que foi identificado um padrão de 0% dos participantes no quadrante Envolvimento para as etapas 2 e 3.

Conforme os diagramas para avaliação do comportamento dos decisores durante a elicitação de preferência com o Tradeoff, nas primeiras etapas do procedimento, alguns poucos participantes apresentaram comportamento Diligente ou de Relaxamento, porém, a grande maioria dos participantes apresentaram comportamento de Indefinição ao longo das etapas do experimento. O padrão de indefinição ocorre quando se têm valores de potência cerebral

positivos para Theta e para Alpha, e representa um alto esforço cognitivo e, um baixo engajamento. Esse padrão de comportamento de Indefinição predominante para elicitación com o Tradeoff, reforça que não é indicado o uso do procedimento quando comparado ao FITradeoff.

No que diz respeito aos resultados do Diagrama para o experimento com o FITradeoff, os resultados sugerem que, para a maioria dos participantes, uma média de 71% um padrão de comportamento foi seguido durante todas as etapas avaliadas do experimento, estando a maioria dos resultados de potência cerebral que representa Indefinição. Em contraste, no experimento com o procedimento Tradeoff, um média de prevalência desse comportamento em 82% dos participantes, para todas as etapas, o comportamento identificado é caracterizado por um alto esforço cognitivo, valor positivo para Theta e, baixo engajamento, valor positivo para Alpha.

Esses resultados também podem sugerir que, como o intervalo entre os experimentos com cada SAD foi de seis meses e com os mesmos participantes, esses podem ter desenvolvido uma maior familiaridade e entendimento sobre métodos de apoio à decisão multicritério, bem como com o uso de SADs para resolver problemas de decisão.

Ainda sobre a análise do padrão de comportamento dos participantes do experimento com o FITradeoff, uma média de 18% dos participantes apresentaram os comportamentos esperados (Diligência e Envolvimento) durante as etapas do processo de elicitación de preferências como método FITradeoff. Por outro lado, para os participantes do experimento com o Tradeoff, essa média entre os comportamentos de Diligência e Envolvimento foi relatada em 11% e 1,5%, respectivamente. Outro dado obtido com os resultados provenientes do desenvolvimento do diagrama de quadrantes é que a variação no padrão de comportamento dos participantes tornou-se mais expressiva durante o experimento com o Tradeoff.

Apesar dos resultados encontrados não relatarem comportamentos esperados como Diligência ou Envolvimento, podem estar relacionados com a forma de obtenção e tratamento dos dados, influenciando na plotagem de dados no Diagrama. Porém, as informações obtidas a partir do Diagrama Alpha-Theta, podem servir de aporte para o analista, ao considerar essa combinação de esforço cognitivo e engajamento, no sentido de dar ênfase no apoio ao decisor durante o processo, para as etapas avaliadas neste estudo.

4.4.3 Análises com o índice de engajamento POPE

Uma análise utilizando o POPE *index* ou índice de engajamento POPE foi desenvolvida combinando valores de Alpha, Beta e Theta para o experimento de elicitación por decomposição com o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff, a fim de investigar padrões de

comportamento dos participantes no processo de tomada de decisão. Essa análise foi desenvolvida com o objetivo de avaliar se os dados de comportamento corroboram com as análises dos dados de potência cerebral do item 4.1 e 4.2, onde os participantes dos experimentos apresentaram um maior engajamento e um menor esforço cognitivo ao realizar a elicitaco com o método FITradeoff.

Os resultados das análises obtidas com a aplicação do ndice de engajamento POPE (POPE *et al.*, 1995), foram realizadas com objetivo de mensurar o grau de envolvimento em cada tarefa determinado durante a elicitaco de preferências, a partir dos dados de EEG. Os valores de potência cerebral nas bandas de frequência Beta, Alpha e Theta foram extraídos em forma de matriz e, dado que tais bandas estão associadas a estados de atenção e vigilância, este ndice POPE pode ser tratado com um ndice de engajamento cognitivo.

Para as etapas de ordenação das constantes de escala dos critérios e exploração do espaço de consequências, podem indicar que os dados se comportam de maneira assimétrica, mas, na etapa de elicitaco das constantes de escala é observada uma diferença significativa entre as duas amostras, sendo que os valores de PI são maiores para os participantes durante a elicitaco com o método FITradeoff, o que pode indicar um maior engajamento dos participantes dos experimentos ao utilizar o método.

4.5 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Este tópico tem como objetivo apresentar uma síntese dos resultados obtidos das análises comparativas.

4.5.1 Síntese dos resultados para cada canal do EEG

A Figura 15, sintetiza os resultados encontrados para os dados do EEG em cada banda de frequência, para todos os canais. As colunas representam cada par de etapas comparadas e, no caso da comparação Tradeoff vs FITradeoff, a etapa na qual os dois estão sendo comparados. As linhas identificam quando para a maioria ou todos os canais apresentam os mesmos resultados. Vale ressaltar que os “-” (traços) indicam similaridade entre os valores (teste de Wilcoxon com $p\text{-value} > 0,05$), ou seja, não há diferença estatística entre eles e, portanto, considera-se a probabilidade do mesmo comportamento por parte dos decisores.

Os dados no interior das tabelas representam o resultado quando ocorre uma comparação entre etapas. Por exemplo, caso os resultados possam indicar um maior engajamento em Alpha, o nome da etapa com o resultado é acompanhado da seta ↓, que indica menores valores de

potência cerebral na banda de frequência Alpha durante essa etapa do processo decisório. Para as comparações entre o Tradeoff e o FITradeoff segue a mesma lógica, quando para uma comparação entre os dois os resultados tenham sugerido um maior engajamento na banda de frequência Alpha, o nome do método com o resultado é acompanhado da seta ↓, que indica menores valores em Alpha durante o processo decisório com o Tradeoff ou FITradeoff.

Figura 15 - Síntese dos resultados para os canais do EEG

Análise dos dados de potência cerebral para cada canal do EEG					
		Bisseção x Ordenação	Ordenação x Exploração	Exploração x Elicitação	
TRADEOFF	Alpha	↓ bisseção	-	-	
	Beta	↑ ordenação	-	↑ exploração	
	Theta	↑ ordenação	-	-	
			Bisseção x Elicitação	Ordenação x Elicitação	
	Alpha	↓ bisseção	↓ elicitação		
	Beta	↑ elicitação	↑ ordenação		
	Theta	↑ elicitação	↑ ordenação		
FITRADEOFF			Ordenação x Exploração	Exploração x Elicitação	Ordenação x Elicitação
	Alpha	↓ ordenação	-	-	↓ ordenação
	Beta	-	-	-	-
	Theta	↑ exploração	-	-	↑ elicitação
FITRADEOFF vs TRADEOFF			Ordenação	Exploração	Elicitação
	Alpha	↓ FITradeoff	↓ FITradeoff	↓ FITradeoff	
	Beta	↑ Tradeoff	↑ Tradeoff	-	
	Theta	↑ Tradeoff	↑ Tradeoff	↑ Tradeoff	

Fonte: A Autora (2021).

Entre etapas adjacentes do Tradeoff, resultados podem sugerir que as etapas de ordenação das constantes de escala dos critérios e elicitação das constantes de escala demandam maior esforço cognitivo do decisor. Com relação ao engajamento, os resultados podem indicar durante a etapa da avaliação intracritério pelo método da bisseção. Entre etapas adjacentes do FITradeoff, resultados podem indicar que as etapas de exploração do espaço de consequências e elicitação das constantes de escala demandam maior esforço cognitivo do decisor. Com relação ao engajamento, os resultados podem indicar que ocorreu durante a etapa de ordenação.

Para a comparação entre o FITradeoff e o Tradeoff, os resultados podem sugerir que o procedimento Tradeoff demandou maior esforço cognitivo dos decisores, evidenciado em resultados para as etapas comparadas. Complementar a isso, os resultados também podem indicar um maior engajamento ao realizar a elicitação de preferências com o método FITradeoff.

4.5.2 Síntese dos resultados com o Diagrama Alpha-Theta

A Figura 16 apresenta em cada coluna a etapa que foi análise durante a comparação entre o FITradeoff e o Tradeoff, mostrando nos resultados, para qual dos dois foi observado comportamentos de maior engajamento e baixo esforço cognitivo a partir dos dados do Diagrama Alpha-Theta.

Figura 16 - Síntese dos resultados com o Diagrama Alpha-Theta

Análise com o Diagrama Alpha-Theta			
FITRADEOFF vs TRADEOFF	Ordenação	Exploração	Elicitação
		FITradeoff	FITradeoff

Fonte: A Autora (2021).

Alguns decisores apresentaram, durante todo o procedimento de elicitación de preferências, um comportamento de Indefinição (alto esforço cognitivo e baixo engajamento) ao realizar a elicitación com o Tradeoff. Com o FITradeoff, foram identificados comportamentos de Diligência e Envolvimento, correspondentes a esforço cognitivo e alto engajamento e, baixo esforço cognitivo e alto engajamento, respectivamente.

4.5.3 Síntese dos resultados com o índice de engajamento POPE

A Figura 17 apresenta em cada coluna a etapa que foi análise durante a comparação entre o FITradeoff e o Tradeoff, mostrando nos resultados, para qual dos dois foi observado comportamentos de maior engajamento a partir dos dados do índice de engajamento POPE.

Figura 17 - Síntese dos resultados do índice de engajamento POPE

Análise com o índice de engajamento POPE			
FITRADEOFF vs TRADEOFF	Ordenação	Exploração	Elicitação
		-	-

Fonte: A Autora (2021).

Em síntese, os valores do índice POPE são maiores para os participantes durante a elicitación com o método FITradeoff, o que pode indicar um maior engajamento dos participantes dos experimentos ao utilizar o método.

4.6 RECOMENDAÇÕES, SUGESTÕES E INSIGHTS

Devido a flexibilidade do método FITradeoff, existem duas possibilidades de desenvolver o processo de análise para a tomada de decisão. A primeira forma consiste em desenvolver o

processo padrão de elicitación por decomposição, respondendo as questões de comparação à critérios adjacentes por meio de consequências específicas, até que o conjunto de alternativas potencialmente ótimas seja reduzido a uma alternativa e, a segunda forma consiste em interromper o processo de elicitación e efetuar uma análise holística utilizando as visualizações, para decisão final, (DE ALMEIDA, FREJ E ROSELLI, 2021).

Ao avaliar o esforço cognitivo de decisores ao utilizar o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff, comparando os resultados desses achados, os resultados desta pesquisa podem indicar que ao executar as mesmas etapas de elicitación por decomposição com o procedimento Tradeoff e com o método FITradeoff, nas etapas de Ordenação das constantes de escala dos critérios e Exploração do espaço de consequências, os dados apresentaram um maior engajamento e um menor esforço cognitivo quando do uso do método FITradeoff.

Já na etapa de Elicitación das constantes de escala, para a maioria dos canais que estão diretamente relacionados ao processo de tomada de decisão, como os canais frontais relatados no capítulo 2, foi observado um aumento nos valores de potência cerebral para a banda Theta, o que sugere que o método FITradeoff, fornece uma experiência que demanda um menor esforço cognitivo do decisor.

Assim, é possível reforçar o uso do método FITradeoff, em comparação com o procedimento Tradeoff. Este método, além de apresentar a mesma estrutura axiomática do Tradeoff, requer apenas informações preferenciais parciais por parte do decisor. Dessa forma, o decisor não é obrigado a indicar cada um dos pontos de indiferença, o que segundo Weber e Borcherdig (1993), não é uma tarefa fácil e que leva a 67% de inconsistências nos resultados encontrados usando o Tradeoff.

Ademais, mesmo não tendo sido foco desta dissertação de mestrado, espera-se que a taxa de inconsistências no FITradeoff seja bem menor que no processo decisório com o procedimento Tradeoff. Isto já era bem provável, dado tipo de informação preferencial fornecido pelo decisor, e agora, reforçado pelos estudos de neurociência (WEBER; BORCHERDING, 1993; ROSELLI *et al.*, 2020; DA SILVA; COSTA; DE ALMEIDA., 2021), que corroboram com os resultados deste trabalho, o que não só é sugerido pelas análises estatísticas realizadas com os valores de potência cerebral dos dois experimentos, mas também dos dados do Diagrama Alpha-Theta e POPE *Index*, que indicam maior engajamento, menor esforço e maior diligência ao utilizar o SAD do método FITradeoff.

Por fim, deve ser reforçado que o apoio ao decisor deve ser oferecido durante as etapas abordadas nesta pesquisa e que são semelhantes ao Tradeoff e FITradeoff: ordenação das constantes de escala dos critérios, exploração do espaço de consequências e elicitación das

constantes de escala. Esse suporte pode vir do analista de decisão, um dos atores do processo de tomada de decisão, bem como do próprio SAD, disponibilizando mais ferramentas e informações para orientar o decisor e minimizar o risco de inconsistências nas informações por ele prestadas ao resolver um problema de decisão multicritério, obtendo recomendações de decisão consistentes com os objetivos organizacionais ou pessoais.

O próximo capítulo traz a resolução de um case com uma aplicação com o método FITradeoff para problemática de escolha, a fim de ilustrar alguns dos resultados obtidos neste estudo.

5 USO DOS RESULTADOS EM UMA APLICAÇÃO COM O FITRADEOFF

Nesta seção é descrito e apresentado um problema de decisão específico, para ilustrar a aplicação do método FITradeoff. Dessa forma, torna-se mais clara para o leitor a contribuição desta pesquisa e como os resultados se aplicam na Engenharia de Produção, em decisões organizacionais e/ou pessoais.

A aplicação escolhida se refere a um problema de escolha de um banco digital. Neste estudo, a proprietária do estabelecimento foi o único decisor do processo decisório a definir suas preferências. Porém, cabe destacar que o mesmo problema de decisão pode ser desenvolvido considerando decisão em grupo.

Serão apresentadas todas as etapas do método no SAD, ilustrando o processo recorrente da interação da elicitação e da avaliação holística desenvolvido no processo de decisão geral do FITradeoff para problemática de escolha, estruturado a partir do *framework* desenvolvido por De Almeida (2013). Deve ser ressaltado que a aplicação deste mesmo problema usando o procedimento Tradeoff não foi desenvolvida dado os resultados encontrados em Roselli *et al.* (2020) e relatados no Capítulo 2, além de limitações de escopo deste trabalho.

5.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Diante de um mercado dinâmico, com consumidores mais exigentes e, visto a situação atual de pandemia, as empresas tem buscado por recursos que otimizem suas operações. Atualmente, os bancos digitais estão evoluindo para atender aos pequenos e microempreendedores (MEI), possibilitando uma gestão financeira mais flexível e de menor custo. Diante desse contexto, esse trabalho trata de um problema de decisão para escolha de um banco digital. Esse problema pode ser modelado tanto para pessoa física como para jurídica. Para essa aplicação, foi considerado pessoa jurídica (PJ), em uma empresa do ramo de serviços, especificamente um salão de beleza com forma jurídica de Microempreendedor Individual (MEI).

Trata-se uma empresa caracterizada como de pequeno porte, com diversas atividades no ramo. Com o aumento da demanda e a atual condição de saúde pública que dificulta a resolução de problemas relativos à bancos e pagamentos, o proprietário necessita otimizar seu tempo entre as atividades gerenciais e operacionais. Diante disso, o decisor deseja contratar serviços bancários de um banco em modalidade digital, para realizar as operações financeiras de forma otimizada. Neste problema, sete alternativas foram avaliadas em seis critérios por meio da aplicação do método FITradeoff, implementado em um SAD, para problemática de escolha.

O objetivo fundamental deste problema é contratar serviços bancários de um banco em modalidade digital, para realizar as operações financeiras de forma otimizada. Para atingir este objetivo fundamental, vários objetivos meios podem ser considerados, os quais foram selecionados: minimizar o valor de tarifas de serviços essenciais, maximização das operações bancárias e segurança. Seis critérios associados aos objetivos foram considerados relevantes para o problema em questão. O Quadro 11 apresenta a descrição destes critérios.

Quadro 11 – Descrição dos critérios

Critério	Descrição	Preferência de direção	Tipo	Escala
Taxa de manutenção (TxManut)	Valor da taxa de manutenção mensal da conta	Minimizar	Natural	Valor Monetário (R\$)
Limite de transações (LimTr)	Quantidade de TED/DOC grátis por mês	Maximizar	Natural	Unidade
Taxa de transações excedentes (TxTrEx)	Valor taxa de TED/DOC excedentes	Minimizar	Natural	Valor Monetário (R\$)
Serviços adicionais (Add)	Se oferece pagamentos, consultas e extratos ilimitados. Se oferece cartão de crédito e débito sem taxas de anuidade e/ou taxas por aquisição/manutenção. Se possibilita integração com ERP. Se disponibiliza maquina	Maximizar	Construída	Likert (escala verbal)
Verificação de transação (VTr)	Proporcionar segurança as transações bancárias e dados pessoais	Maximizar	Construída	Likert (escala verbal)
Usabilidade do aplicativo (UsApp)	Diz respeito a interface prática do aplicativo	Maximizar	Construída	Likert (escala verbal)

Fonte: A Autora (2021).

Com relação aos critérios com escala construída, será utilizada a escala de 1 a 5 LIKERT, a escala foi definida para cada critério e apresentado ao decisor no momento em que foi

desenvolvida a matriz de decisão. Como alternativas, foram determinadas pelo decisor as seguintes: Banco Inter, Pj Bank, PagBank, Conta Simples, Neon PJ, C6 Bank e FitBank.

De acordo com a classificação apresentada por De Almeida (2013), o tipo de problemática é P. α , pois trata-se de um problema de escolha de um banco digital no ambiente de várias alternativas. Essas alternativas deverão ser reduzidas até que forme um conjunto com apenas a melhor delas. Com os critérios e alternativas definidos, os dados de desempenho de cada alternativa foram coletados no site oficial de cada banco e também em consulta ao site do Banco Central do Brasil. Para os critérios construídos, o decisor fez a avaliação de acordo com as informações disponíveis para consulta. A matriz de consequências é apresentada na Tabela 39.

Tabela 39 - Matriz de consequências para problema de escolha de banco digital

Alternativas/Critérios	TxManut	LimTr	TxTrEx	Add	Vtr	UsApp
Banco Inter	R\$ -	100	R\$ -	3	4	5
PJ Bank	R\$ -	0	R\$ 7,00	4	3	4
PagBank	R\$ -	5	R\$ 1,99	3	4	4
Conta Simples	R\$ -	2	R\$ 2,99	2	2	5
Neon PJ	R\$ -	0	R\$ 3,50	2	3	4
C6 Bank	R\$ -	100	R\$ 4,00	3	3	4
FitBank	R\$ -	100	R\$ -	4	4	4

Fonte: A Autora (2021).

O próximo tópico apresenta o detalhamento das da resolução do problema de decisão citado com o método FITradeoff, relatando todas as etapas da elicitação de preferências, bem como recomendações e comentários para o processo a partir dos resultados desta pesquisa.

5.2 RESOLUÇÃO DO PROBLEMA COM O FITRADEOFF

No caso desse problema, a estrutura de preferências é (P, I), pois o decisor consegue comparar todos os critérios. A racionalidade mais adequada para o decisor, neste caso, é a compensatória, pois um pior desempenho em usabilidade, por exemplo, pode ser compensado por um melhor desempenho em taxa de manutenção. Os métodos multicritérios relacionados a forma de agregação aditiva se diferem principalmente na forma de elicitação das preferências, por isso a importância desta etapa, se a elicitação é feita de forma incorreta a escolha do método a ser utilizado será inadequado ao problema (DE ALMEIDA, 2013).

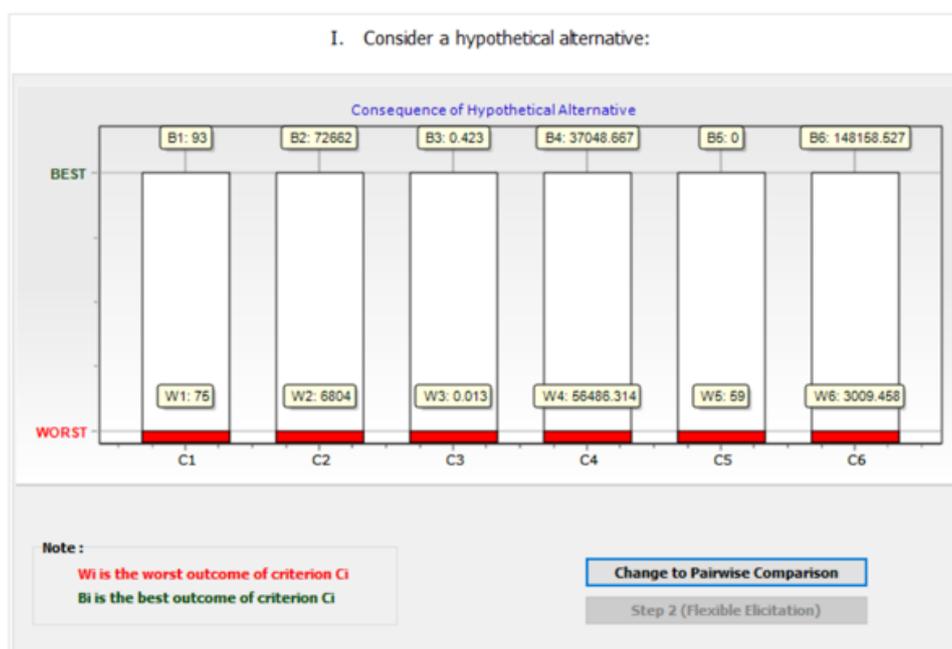
Utilizando então o SAD do FITradeoff, o decisor teve acesso aos dois paradigmas de modelagem de preferências: a elicitação por decomposição e a avaliação holística. Na primeira etapa do método FITradeoff, é realizado o *input* dos dados, que pode ser manualmente preenchido no SAD ou em forma de importação de uma planilha do Excel. Em seguida, a

avaliação intracritério e a normalização é executada pelo software. Para efeito de simplificação, foi considerado que a preferência do decisor é linear com relação a todos os critérios. O SAD para o FITradeoff realiza a avaliação intracritério de forma direta, a partir da inserção da tabela de *input*, a saída dessa etapa do processo de elicitación é a função valor marginal para cada alternativa em cada critério, obtida conforme procedimentos de elicitación de função valor marginal para modelos aditivos.

A segunda etapa consiste na Ordenação das constantes de escala dos critérios pelo decisor, considerando sua importância relativa. Para isso, o procedimento inclui na matriz de avaliação uma alternativa hipotética que tem o pior desempenho em todos os critérios, obtendo o valor igual a 0 e pergunta ao decisor diante de uma escolha de melhoria em apenas um critério, qual ele escolheria. As perguntas são realizadas até que se tenha a ordenação de todos os critérios e essa ordem é registrada de acordo com a resposta do decisor.

Para essa etapa, de acordo com os resultados desta pesquisa, não foi identificado um alto esforço cognitivo para o decisor em comparação com a mesma etapa sendo executada com o procedimento Tradeoff, o que pode indicar que é uma tarefa cognitivamente mais simples com o SAD do FITradeoff. A Figura 18 mostra como a tela para etapa de ordenação é apresentada ao decisor:

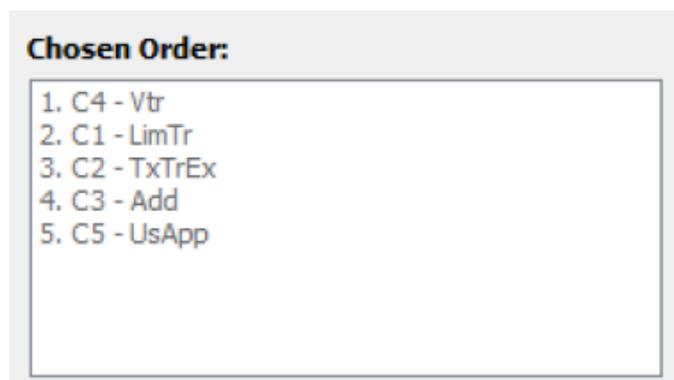
Figura 18 – Ordenação das constantes de escala dos critérios no SAD do FITradeoff



Fonte: A Autora (2021).

Portanto, para essa situação, considerando as preferências do decisor, a ordenação das constantes de escala dos critérios é definida, conforme a Figura 19:

Figura 19 – Ordenação final das constantes de escala pelo decisor no SAD do FITradeoff



Fonte: A Autora (2021).

A partir da ordenação das constantes de escala dos critérios, cria-se a primeira desigualdade do modelo, sendo inserida no Problema de Programação Linear – PPL para problemática escolha (DE ALMEIDA *et al.*, 2016), objetivando encontrar uma solução. É importante ressaltar que cada nova preferência do decisor fica inclusa no PLL como restrição. Neste contexto, após atualizar o modelo PPL, tem-se o seguinte resultado, ilustrado com a Figura 20:

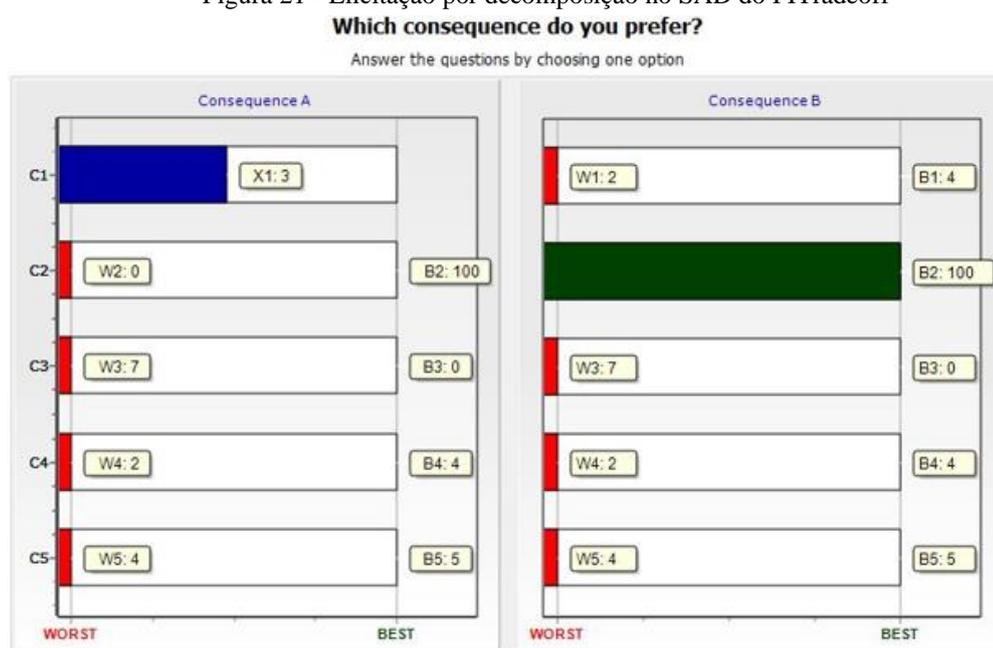
Figura 20 – Resultados parciais após a etapa de ordenação

	Maximum Value	Vtr	LimTr	TxTrEx	Add	UsApp	K(Vtr)	K(LimTr)	K(TxTrEx)	K(Add)	K(UsApp)
Banco Inter	1.0000	4	100	0	4	5	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
PagBank	1.0000	4	5	2	4	4	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
FitBank	1.0000	4	100	0	3	4	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Fonte: A Autora (2021).

Pode-se observar que dentre as sete alternativas do modelo, somente com a ordenação o conjunto é formado por apenas três alternativas como potencialmente ótimas. Após a visualização gráfica, o decisor optou por seguir o processo com a elicitación por decomposição, onde as consequências eram comparadas par a par, conforme ilustra a Figura 21.

Figura 21 - Elicitação por decomposição no SAD do FITradeoff



De acordo com os resultados desta pesquisa, o decisor apresentou algum grau de dificuldade cognitiva para esta etapa de elicitação, porém, os resultados também indicam um alto engajamento dos decisores quando utilizaram o SAD do FITradeoff em comparação ao SAD do Tradeoff. Dessa forma, o analista pode dispensar maior atenção ao decisor para envolvê-lo ainda mais na tarefa, além disso, sugere-se que o analista instrua o decisor durante a elicitação por decomposição, no sentido de explicar com relação a representação dos valores mostrados para cada consequência, bem como enfatizar que trata-se de uma comparação pareada.

Por meio da Figura 21, será primordial, conforme os resultados desta pesquisa, explicar ao decisor que existe a comparação de uma consequência intermediária no Critério 1 (verificação de transações), nomeada de Consequência A no SAD, sendo comparada com o melhor valor de desempenho para o Critério 5 (usabilidade do aplicativo do banco), nomeada por Consequência B. E assim, o decisor avalia e define qual sua preferência entre as duas consequências, respondendo uma pergunta que irá gerar uma inequação que será inserida no PPL do método.

Posteriormente, mais comparações par a par foram realizadas, totalizando apenas seis perguntas até que uma recomendação final seja sugerida. A Tabela 40, resume todos os pares de consequências mostradas para obter uma resposta do decisor, a escolha do decisor em cada pergunta e as alternativas potencialmente ótimas encontradas em cada ciclo de pergunta.

Tabela 40 – Ciclos de perguntas e respostas consideradas no processo

Ciclo	Consequência A	Consequência B: Best:	Escolha	Alt. potencialmente ótimas
1	75% Verificação transação	Usabilidade do App	A	Banco Inter, PagBank, FitBank
2	75% Verificação transação	Limite de transações	A	Banco Inter, PagBank, FitBank
3	50% Limite de transações	Tx de Transações Extra	B	Banco Inter, PagBank, FitBank
4	50% Tx de Transações Extra	Serviços Adicionais	B	Banco Inter, PagBank, FitBank
5	75% Serviços Adicionais	Usabilidade do App	A	Banco Inter, PagBank, FitBank
6	Pior desemp. Ver. Transação	Limite de transações	B	Banco Inter

Fonte: A Autora (2021).

Pode-se verificar que as alternativas potencialmente ótimas encontradas na ordenação permanecem durante o processo de elicitação com o decisor, de modo que são explorados valores de desempenhos entre os critérios até que após a sexta pergunta, resta apenas a alternativa que melhor se adequa as preferências do decisor, sendo no caso, o “Banco Inter”.

Após a obtenção do resultado, realizou-se a análise de sensibilidade contida no SAD, onde se percebeu 100% das vezes a alternativa do “Banco Inter” estava dentro do conjunto de alternativas potencialmente ótimas. O “FitBank” não era potencialmente ótimo no problema original, mas com a análise apareceu 41,71% de vezes como potencialmente ótima. Dessa forma, a alternativa Banco Inter foi a mais indicada para implementação, tendo em vista que obteve um maior percentual de permanecer na posição original.

A aplicação com o procedimento Tradeoff não foi desenvolvida devido a limitação do escopo deste trabalho e do tempo para execução, sendo inclusive uma limitação dessa pesquisa. Porém, os resultados desta pesquisa, bem como os resultados da aplicação corroboram com estudos anteriores que avaliaram individualmente o Tradeoff e o FITradeoff a partir de experimentos comportamentais.

Os resultados do trabalho de Roselli *et al.* (2020) podem demonstrar que foi necessário um alto esforço cognitivo do decisor à medida em que o processo decisório avança. Além disso, resultados também podem indicar pouco engajamento e motivação. Como o decisor está pouco engajado e motivado, ele tende a fornecer informações menos precisas, prejudicando a validade da recomendação de Tradeoff. Além disso, os autores identificaram que o tempo médio de duração da elicitação para cada etapa é de 1,3 min (ordenação das constantes de escala dos critérios), 1,8 min (exploração do espaço de consequências), 6,8 min (elicitação das constantes de escala). No geral, a média de tempo consumido durante todo o experimento foi de 12 min.

Essas informações sugeriram que a etapa de elicitação das constantes de escala foi a mais extensa para os participantes, tendo aproximadamente 4x mais tempo que as demais etapas. Por outro lado, Silva *et al.* (2021) relatam que para o experimento com o FITradeoff, na maioria dos casos, a etapa de ordenação das constantes de escala dos critérios foi concluída em menos

de 1 min, enquanto a etapa de exploração do espaço de consequências levou menos de 2 min. Sobre a etapa de elicitación das constantes de escala, foi resolvida com uma média de 3 min para a maioria dos problemas.

Os resultados das pesquisas citadas, seguem a mesma direção dos resultados encontrados nesta pesquisa, visto que podem reforçar a ideia de que o Tradeoff é um procedimento cansativo, que demanda esforço cognitivo do decisor, levando a um alto percentual de inconsistências. A quantidade de perguntas para o estudo de caso com o FITradeoff relatado neste tópico foram apenas 6, na mesma perspectiva, para os problemas do estudo comportamental desenvolvido por Silva *et al.* (2021), observou-se que até 10 questões foram suficientes para a maioria dos casos.

Portanto, o estudo comprova a vantagem obtida com o SAD do método FITradeoff, uma vez que oferece flexibilidade ao decisor durante todo o processo de tomada de decisão. Verifica-se a flexibilidade e interatividade do método com esta aplicação, visto que o decisor pode visualizar resultados parciais e escolher continuar com o processo de elicitación por decomposição ou não. O FITradeoff requer informação parcial do decisor, o que proporciona uma redução significativa no número de perguntas, biscando a tomada de decisão com o mínimo de esforço possível.

O capítulo a seguir apresenta as conclusões obtidas e trabalhos que ainda podem ser explorados a partir dos resultados e dados obtidos com esta pesquisa, bem como *insights* que surgiram ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo traz o fechamento do trabalho com a apresentação das conclusões gerais. Os principais resultados obtidos são mostrados de maneira resumida, bem como suas implicações. Por fim, as sugestões para o desenvolvimento de estudos futuros são dispostas.

6.1 CONCLUSÕES

Ferramentas da abordagem de neurociência em decisão, aplicadas em estudos sobre o processo de tomada de decisão fornece importante contribuição, permitindo aprofundar o conhecimento na área e fornecer valiosos *insights*. No presente estudo, foram avaliados os aspectos cognitivos relacionados ao processo de elicitación de preferências por meio do procedimento Tradeoff e do método FITradeoff, ambos implementados em um SAD. As principais variáveis investigadas foram a potência das bandas de frequência do cérebro relacionadas a funções de comportamento cognitivo como: esforço cognitivo e engajamento.

A análise das medidas de cada participante obtidas com EEG durante a execução dos experimentos, permitiram entender o comportamento dos decisores durante as etapas de ordenação das constantes de escala dos critérios, exploração do espaço de consequências e elicitación das constantes de escala, essas etapas são similares entre os métodos e relacionadas à quantidade e o tipo de informações de preferências fornecidas pelo decisor e requeridas por cada método.

Embora em alguns canais os valores observados refletem um mesmo grau de esforço cognitivo para o Tradeoff e o FITradeoff, para a maioria dos canais que estão diretamente relacionados ao processo de tomada de decisão e outros processos complexos foi observado um aumento nos valores de potência cerebral da banda Theta, o que sugere que o método FITradeoff, fornece uma experiência que demanda um menor esforço cognitivo do decisor.

Somando esses achados com o fato de que as etapas citadas são importantes para a definição do espaço de pesos, para a busca de uma solução pelo SAD, bem como para a avaliação de inconsistências, verifica-se que maior apoio deve ser dado ao decisor nessas etapas. Esse suporte pode vir do analista de decisão, um dos atores do processo de tomada de decisão, bem como do próprio SAD, disponibilizando mais ferramentas e informações para orientar o decisor e minimizar o risco de inconsistências nas informações por ele prestadas.

O cenário competitivo do ambiente de negócios atual gera desafios contínuos em projetar sistemas de apoio à decisão eficazes que auxiliem gestores a tomar decisões mais rápidas e inteligentes. Detectar o impacto da demanda da tarefa na cognição de forma discreta por meio

dos dados neurofisiológicos ao longo do tempo, é uma contribuição importante para a literatura, pois, a demanda cognitiva tem um grande impacto na eficácia com que as ferramentas de decisão computadorizadas são utilizadas. Não é desejável que durante o processo decisório, o decisor esteja pouco engajado e motivado, pois assim, o decisor tende a fornecer informações menos precisas, prejudicando a validade da recomendação final.

Diversas aplicações já estão presentes na literatura e fazem uso do método FITradeoff para resolver problemas de decisão. Em Frej *et al.* (2017) e Santos *et al.* (2020), o método FITradeoff é usado para selecionar fornecedores em empresas do Estado de Pernambuco, contribuindo para o avanço econômico desta região. Frej, Ekel e De Almeida (2021) desenvolveram metodologicamente o método FITradeoff a partir de um modelo para problemática de portfólio, abordando também uma aplicação com base na relação custo-benefício para resolver o problema de seleção de portfólio de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de uma grande concessionária de energia elétrica brasileira.

Abordagens compensatórias têm sido aplicadas em problemas de planejamento e controle de produção, como na seleção de regras de despacho de job-shop (PERGHER; DE ALMEIDA, 2018) e consequências potenciais no desempenho do sistema job-shop (PERGHER *et al.*, 2020) a solução recomendada para estes problemas pode ser utilizada para destacar as lacunas entre o status quo do sistema de produção job-shop e os objetivos táticos da organização, possibilitando ao decisor definir ações para melhorar o desempenho do sistema com resultados econômicos positivos.

Com relação ao aspecto ambiental, Carrillo *et al.* (2018) utilizaram o método FITradeoff para selecionar melhores tecnologias para o setor agrícola. Monte e Morais (2019), usaram o método para apoiar a gestão hídrica. E na área de energia para selecionar o melhor tipo de energia renovável para o Brasil (FOSSILE *et al.*, 2020), assim como para avaliar a melhor tecnologia para a geração de energia elétrica (KANG *et al.*, 2018). Macedo, Mota e Sola (2018) propõem uma avaliação elaboraram uma análise de desempenho energético para avaliar os benefícios da utilização de uma ferramenta de decisão multicritério para resolver o problema de substituição de motores não eficientes, atendendo à Lei Brasileira de Eficiência Energética

Da perspectiva social, o método também foi utilizado para a ordenação das operações especiais da Polícia Federal do Brasil (CUNHA *et al.*, 2019). Na área da saúde, o método já foi utilizado para avaliar protocolos de triagem do sistema de saúde da cidade de Natal – Brasil (CAMILO *et al.*, 2020). Dessa forma, verifica-se vários exemplos de resolução de processo decisório com o FITradeoff, aplicado para a resolução de problemas sociais, ambientais e econômicos de nosso país.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Avanços tecnológicos em métodos neurofisiológicos não invasivos, como eletroencefalografia e o rastreamento ocular, permitem que os pesquisadores mapeiem o curso de tempo neural da tomada de decisão com precisão de milissegundos. Para corroborar com os resultados dessa pesquisa e conduzir a exploração quanto aos aspectos comportamentais ao utilizar o procedimento Tradeoff e o método FITradeoff, outras análises, entretanto, ainda precisam ser realizadas.

A ferramenta de rastreamento ocular Eye-tracking pode complementar os achados dessa pesquisa. Com a análise de dados pupilométricos, o conhecimento sobre o esforço cognitivo pode ser enriquecido. A combinação dessas abordagens pode gerar novos insights importantes sobre como as escolhas surgem ao longo do tempo. Algumas das métricas que podem ser obtidas com o uso dos dados do Eye-tracking: o tempo que cada decisor dispensou em cada etapa, o tempo total para no experimento até a recomendação final e tempo de fixação em cada elemento da tela do SAD. Essas questões podem ser avaliadas tanto para o experimento com o SAD do Tradeoff quanto para o experimento com o SAD do FITradeoff, possibilitando assim, comparar os resultados.

A natureza dos critérios e o número de critérios de problemas de decisão, a natureza e quantidade de alternativas do espaço de ações pode impactar o esforço cognitivo exigido do decisor e seu engajamento, de modo que exigirá mais tempo de avaliação do decisor para uma quantidade maior de critérios e/ou alternativas. Dessa forma, sugere-se que essas variáveis sejam objetivo de análise para pesquisas futuras. Além disso, pode-se avaliar se a estrutura de preferências dos decisores mudaram, visto que existiu uma lacuna de seis meses entre os dois experimentos.

Outro tema de sugestão de trabalhos futuros é avaliar questões pessoais de cada participante, como por exemplo: emoções vividas pelo participante antes do experimento, como: raiva, estresse, alterações de sono, consumo de bebidas alcoólicas ou ingestão de determinados medicamentos. Além disso, pode-se realizar o mapeamento da percepção do participante com relação ao experimento e relacionar todos estes dados pessoais com a realização das tarefas do experimento, buscando alguma correlação. Isso pode ser feito ao incluir ao desenho do experimento a aplicação de questionários antes e depois do experimento para cada participante.

Ainda visando minimizar os riscos do alto esforço cognitivo e baixo engajamento no fornecimento de informações, visto que esses aspectos que podem resultar em indefinição nos

resultados, um estudo para avaliar se o decisor foi inconsistente em alguma das etapas do processo decisório, impactando o resultado da recomendação final, também é uma sugestão para pesquisas futuras. Entender que determinadas etapas exigem mais do decisor, especialmente ao ponto do decisor ser inconsistente em suas respostas, pode direcionar esforços para melhorar o sistema na execução da elicitação de preferências e orientar o analista de decisão a fornecer maior suporte ao decisor nesses casos.

REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ-CARRILLO, P. A.; ROSELLI, L. R. P.; FREJ, E. A.; DE ALMEIDA A. T. Selecting an agricultural technology package based on the flexible and interactive tradeoff method. **Annals of Operations Research**, v. 270, p. 1-16, 2018.
- ANDRADE, A. L. O.; MORAIS, D.C. The influence of music and arithmetic problems solving in the tradeoff elicitation context. *In: Innovation for Systems Information and Decision meeting*, 2020, Natal. **Anais [...]**. Natal: INSID, 2020.
- ANGELAKIS, D.; ZOUMIS, S.; ASVESTAS, P. Design and Implementation of a Brain Computer Interface System for Controlling a Robotic Claw. **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2017.
- BAFNA, T; HANSEN, J. P. Mental fatigue measurement using eye metrics: A systematic literature review. **Psychophysiology**, v. 58, 6ª ed, nº e13828, 2021. <https://doi.org/10.1111/psyp.13828>
- BARBOSA, A. A. L.; DE MOURA, J. A.; DE MEDEIROS, D. D. Positioning of design elements on the packaging of frozen convenience food and consumers' levels of attention: An experiment using pizza boxes. **Food Quality and Preference**, v. 87, n. 104044, 2021.
- BAZERMAN, M. H. **Processo decisório: para cursos de administração e economia**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2004.
- BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Berlin: Springer Science & Business Media, 2002.
- BOKSEN, M.; TOPS, M. Mental fatigue: Costs and benefits. **Brain research reviews**. v. 59, p. 125-39, 2008. DOI: 10.1016/j.brainresrev.2008.07.001
- BORCHERDING, K.; EPPEL, T.; VON WINTERFELDT, D. Comparison of weighting judgments in multiattribute utility measurement. **Management Science**, v. 37, n. 12, p.1603-1619, 1991.
- BORGES, *et al.* A review of partial information in additive multicriteria methods. **Journal of Management Mathematics**. p 1-37, 2022. <https://doi.org/10.1093/imaman/dpab046>
- CALVERT, J. **Use of Pope Engagement Index to measure cognitive load of physical modeling activities in organic chemistry**. 2019. Dissertação. (Master of Science in Chemical Sciences Theses) - Kennesaw State University, 2019.
- CAMILO, D. G. G.; DE SOUZA, R. P.; FRAZÃO, T. D. C.; DA COSTA JUNIOR, J. F. Multi-criteria analysis in the health area: selection of the most appropriate triage system for the emergency care units in natal. **BMC medical informatics and decision making**, v. 20, n. 1, p. 1-16, 2020.
- CARRILO, P. A. A., ROSELLI, L. R. P., FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Selecting an agricultural technology package based on the flexible and interactive tradeoff method. **Annals of Operations Research**, v. 270, p. 1–16, 2018.

CINELLI, M. *et al.* MCDA Index Tool: an interactive software to develop indices and rankings. **Environment Systems and Decisions**, v. 41, pp. 82-109, 2021.
<https://doi.org/10.1007/s10669-020-09784-x>

CHAUMON, M.; BISHOP D. V.; BUSCH N. A. A practical guide to the selection of independent components of the electroencephalogram for artifact correction. **Journal of Neuroscience Methods**, v. 30, n. 50, p.47-63, 2015. doi: 10.1016/j.jneumeth.2015.02.025.

CUNHA, C. P.; MOTA, C. M.; DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A. Building a Multicriteria Decision Making Model for Prioritizing Brazilian Federal Police Activities. *In: INFORMS Annual Meeting, 2019, Seattle. [Annals...]*. Seattle: INFORMS Annual Meeting 2019.

DANIELSON, M.; EKENBER, L. A Robustness Study of State-of-the-Art Surrogate Weights for MCDM. **Group Decision and Negotiation**, v. 26, n. 4, p. 677-691, 2017. DOI: 10.1007/s10726-016-9494-6

DAVIDSON, R. J.; EKMAN, P.; SARON, C. D.; SENULIS, J. A.; FRIESEN, W. V. Approach-withdrawal and cerebral asymmetry: emotional expression and brain physiology: I. **Journal of Personality and Social Psychology**, v. 58 n. 2, p. 330-341, 1990.

DA SILVA, A. C. de L.; COSTA, A. P. C. S. FITradeoff Decision Support System: Na Exploratory Study with Neuroscience Tools, *In: Davis, F.D.; Riedl, R.; Vom Brocke, J.; Léger, P.M.; Randolph, A.B.; Fischer, T. (eds) Information Systems and Neuroscience. Lecture Notes in Information Systems and Organization*, vol. 43, p. 365-372, 2020.

DA SILVA, A. L. C. L.; COSTA, A.P.C.S.; DE ALMEIDA, A.T. Exploring cognitive aspects of FITradeoff method using neuroscience tools. **Annals of Operations Research**, p. 1-23, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03894-0>

DE ALMEIDA, A. T.; MORAIS, D. M. Costa, A. P. C. S., ALENCAR, L. H., DAHER, S. F. D. **Decisão em Grupo e Negociação: Métodos e Aplicações**. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

DE ALMEIDA, A. T. de. **Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério**. 1a Edição. São Paulo: Editora Atlas, 2013.

DE ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALENCAR, M. H.; FERREIRA, R. J. P.; DE ALMEIDA-FILHO, A. T.; GARCEZ, T. V. Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis. **International Series in Operations Research & Management Science**. v. 231. New York: Springer, 2015.

DE ALMEIDA, A. T.; ALMEIDA, J. A.; COSTA, A. P. C. S.; ALMEIDA-FILHO, A. T. A New Method for Elicitation of Criteria Weights in Additive Models: Flexible and Interactive Tradeoff. **European Journal of Operational Research**, v. 250, n. 1, p. 179-191, 2016.

DE ALMEIDA, A. T.; ROSELLI, L. R. P. NeuroIS to Improve the FITradeoff Decision-Making Process and Decision Support System. *In: Davis, F.D.; Riedl, R.; Vom Brocke, J.; Léger, P.M.; Randolph, A.B.; Fischer, T. (eds) Information Systems and Neuroscience. Lecture Notes in Information Systems and Organization*, vol. 43, p.111-120, Springer, 2020.

DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A.; ROSELLI, L. R. P. Combining holistic and decomposition paradigms in preference modeling with the flexibility of FITradeoff. **Central European Journal of Operations Research**, v. 29, p. 7–47, 2021.

DELL’OVO, M.; FREJ, E. A.; OPPIO, A.; CAPOLONGO, S.; MORAIS, D. C.; DE ALMEIDA, A. T. Multicriteria Decision Making for Healthcare Facilities Location with Visualization Based on FITradeoff Method. *In: International Conference on Decision Support System Technology*, pp. 32-44, Springer, 2017.

DEMAZURE, T.; KARRAN, A.; LABONTÉ-LEMOYNE, É.; LÉGER, P. M.; SÉNÉCAL, S.; FREDETTE, M.; BABIN, G. Sustained attention in a monitoring task: Towards a neuroadaptive enterprise system interface. **Information Systems and Neuroscience**, pp. 125-132, Springer, Cham, 2019.

DIAS, L.C.; CLÍMICO, J. N. Additive Aggregation with Variable Interdependent Parameters: the VIP Analysis Software. **Journal of Operational Research Society**, v. 51, n. 9, p. 1070-1082, 2000.

DIMOKA, A.; PAVLOU, P. A.; DAVIS, F. NeuroIS: The Potential of Cognitive Neuroscience for Information Systems Research. **Information Systems Research Articles in Advance**, p. 1-18, 2010.

DIMOKA, A., DAVIS, F. D., GUPTA, A., PAVLOU, P. A., BANKER, R. D., DENNIS, A. R., WEBER, B. On the use of neurophysiological tools in IS research: Developing a research agenda for NeuroIS. **MIS quarterly**, p. 679-702, 2012.

DINIZ, L. F. M; SCHIAVON, B. K; OLIVEIRA, R.G. **Julgamento e Tomada de Decisão**. São Paulo: Pearson, 2018.

DONG, L. *et al.* Neuroscience information toolbox: An open source toolbox for EEG–fMRI multimodal fusion analysis. **Frontiers in Neuroinformatics**, v. 12, n. 56, 2018.

DRAGONE, P.; TESO, S.; KUMAR, M.; PASSERINI, A. Decomposition Strategies for Constructive Preference Elicitation. AAAI Conference on Artificial Intelligence, North America, 2018.

EAGLEMAN, D. **The Brain**: A story of you. New York: Pantheon Books, 2015.

EDWARDS, W.; BARRON, F.H. SMARTS and SMARTER: Improved simple methods for multiattribute utility measurement. **Organizational behavior and human decision processes**, v. 60, n. 3, p. 306-325, 1994.

EVANS, J. R.; ABRAVANEL, A. **Introduction to quantitative EEG and neurofeedback**. San Diego: Academic Press, 1999.

PECTEAU, S.; KNOCH, D.; FREGNI, F.; SULTANI, N.; BOGGIO, P.; PASCUAL-LEONE, A. Diminishing Risk-Taking Behavior by Modulating Activity in the Prefrontal Cortex: A Direct Current Stimulation Study. **The Journal of Neuroscience**, v. 27, n. 46, p. 12500 – 12505, 2007.

FEHRENBACHER, D.; DJAMASBI, S. Information systems and task demand: An exploratory pupillometry study of computerized decision making. **Decision Support Systems**, v. 97, p. 1–1, 2017.

FINSTERER, J.; ZARROUK, S. Fatigue in Healthy and Diseased Individuals. **The American journal of hospice & palliative care**. v. 31, 2013. DOI: 10.1177/1049909113494748

FISCHER, N. L.; PERES, R.; FIORANI, M. Frontal alpha asymmetry and theta oscillations associated with information sharing intention. **Frontiers in Behavioral Neuroscience**, v. 12, n. 166, 2018. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2018.00166>

FREJ, E. A.; ROSELLI, L. R. P.; ARAÚJO DE ALMEIDA, J.; DE ALMEIDA, A. T. A Multicriteria Decision Model for Supplier Selection in a Food Industry Based on FITradeoff Method. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2017, p. 1-9, 2017.

FREJ, E. A.; EKEL, P.; DE ALMEIDA, A. T. A benefit-to-cost ratio based approach for portfolio selection under multiple criteria with incomplete preference information. **Information Sciences**, v. 545, p. 487-498, 2021.

FOSSILE, D. K.; FREJ, E. A.; DA COSTA, S. E. G.; DE LIMA, E. P.; DE ALMEIDA, A. T. Selecting the most viable renewable energy source for Brazilian ports using the FITradeoff method. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, n. 121107, 2020.

GÊ, M. C. O.; ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T. Uso de Neurociência em Decisão para explorar a elicitación por decomposição no método FITradeoff versus no procedimento Tradeoff. *In: LIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Blumenau. [Anais...]* Blumenau: XLIX SBPO, 2021.

GEVINS, A.; SMITH, M. E. Electroencephalography (EEG) in neuroergonomics, **Neuroergonomics: The brain at Work**, New York, NY: Oxford University Press, p. 15–31, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GLIMCHER, P. W. **Decisions, uncertainty, and the brain: The science of neuroeconomics**. Massachusetts: MIT press, 2004.

GLIMCHER P.; FEHR E. **Neuroeconomics: decision making and the brain**. San Diego: Academic Press, 2014.

HAKIMI, S.; HARE, T. A. Enhanced neural responses to imagined primary rewards predict reduced monetary temporal discounting. **Journal of Neuroscience**, v.35. n. 38, p. 13103-13109, 2015.

HERMENS, D. F.; SOEI, E. X. CLARKE, S. D.; KOHN, M. R.; GORDON, E.; WILLIAMS, L. M. Resting EEG theta activity predicts cognitive performance in attention-deficit hyperactivity disorder. **Pediatric Neurology**, v. 32, n. 4, p. 248-256, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2004.11.009>

HOLM, A.; LUKANDER, K.; KORPELA, J.; SALLINEN, M.; MÜLLER, K. M. I. Estimating Brain Load from the EEG. **Sci. World J.** v. 9, p. 639–651, 2009.

HOPSTAKEN, J. F.; VAN DER LINDEN, D.; BAKKER, A. B.; KOMPIER, M. A. J. The window of my eyes: Task disengagement and mental fatigue covary with pupil dynamics. **Biological Psychology**, v. 110, p. 100-106, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.06.013>

HOPSTAKEN, J. F.; VAN DER LINDEN, D.; BAKKER, A. B.; KOMPIER, M. A. J.; LEUNG, Y. K. Shifts in attention during mental fatigue: Evidence from subjective, behavioral, physiological, and eye-tracking data. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, v. 42, n. 6, p. 878– 889, 2016.

HUNT, L. T.; DOLAN, R. J., BEHRENS, T. E. Hierarchical competitions subserving multiattribute choice. **Nature neuroscience**, v. 17, n. 11, p. 1613-1622, 2014.

JENSEN, O.; KAISER, J.; LACHAUX, J. P. Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory. **Trends in neurosciences**, v. 30, n. 7, p. 317- 324, 2007.

KAHNEMAN, D. **Attention and Effort**. New Jersey: Prentice Hall, 1973.

KAHNEMAN, D. **Thinking fast and slow**. New York: Farrar, Straus, and Giroux, 2013.

KANG, T. H. A.; JÚNIOR, A. M. D. C. S.; DE ALMEIDA, A. T. Evaluating electric power generation technologies: A multicriteria analysis based on the FITradeoff method. **Energy**, v. 165, p. 10-20, 2018.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decision analysis with multiple conflicting objectives**. New York: Wiley & Sons, 1976.

KEENEY, R. L. **Value-focused thinking: a path to creative decision making**. Massachusetts: Harvard University Press, 1992.

KHUSHABA, R. N. *et al.* Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and Eye tracking. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 9, p. 3803-3812, 2013.

KLIMESCH, W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. **Brain Research Review**, 1999. [https://doi.org/10.1016/s0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/s0165-0173(98)00056-3)

KLIMESCH, W.; SCHACK, B.; SAUSENG, P. The Functional Significance of Theta and Upper Alpha Oscillations. **Experimental Psychology**, v. 52, n. 2, p. 99–108, 2005.
<https://doi.org/10.1027/1618-3169.52.2.99>

LIENERT, J.; DUYGAN, M.; ZHENG, J. Preference stability over time with multiple elicitation methods to support wastewater infrastructure decision-making. **European Journal Operations Research**, v. 253, pp. 746-760, 2016. [10.1016/j.ejor.2016.03.010](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.03.010)

- LIN, C. T.; CHUANG, C. H.; KERICK, S.; MULLEN, T.; Jung, T. P., *et al.* Mind-wandering tends to occur under low perceptual demands during driving. **Scientific Reports**, v. 6, n. 21353, 2016. <https://doi.org/10.1038/srep21353>
- LINDE, J.; VIS, B. (2016). Do politicians take risks like the rest of us? An experimental test of prospect theory under MPs. **Political Psychology**, v. 38, n. 1, p. 101-117, 2016.
- LINKOV, I. *et al.* Using our brains to develop better policy. **Risk Analysis**, v. 32, n. 3, p. 374–380, 2012.
- LOOF, E.; VASSENA, E.; JANSSENS, C.; DE TAEYE, L.; MEURS, A.; VAN ROOST, D.; VERGUTS, T. Preparing for hard times: Scalp and intracranial physiological signatures of proactive cognitive control. **Psychophysiology**, v. 56, n.10, 2019.
- LOPEZ-PERSEM, A. *et al.* Four core properties of the human brain valuation system demonstrated in intracranial signals. **Nature Neuroscience**, v. 23, n. 5, p. 664–675, 2020.
- MA, Q. *et al.* The undermining effect of facial attractiveness on brain responses to fairness in the Ultimatum Game: an ERP study. **Frontiers in neuroscience**, v. 9, p. 77, 2015.
- MACDONALD, J. S. P.; MATHAN, S.; YEUNG, N. Trial-by-trial variations in subjective attentional state are reflected in ongoing prestimulus EEG alpha oscillations. **Frontiers in psychology**, v. 2, p. 82, 2011.
- MACEDO, P. P.; MOTA C. M. M.; SOLA, A. V. H. Meeting the Brazilian energy efficiency law: a flexible and interactive multicriteria proposal to replace non-efficient motors. **Sustain Cities Soc**, v. 41, p.822–832, 2018.
- MAGEN, E.; KIM, B.; DWECK, C. S.; GROSS, J. J.; MCCLURE, S. M. Behavioral and neural correlates of increased self-control in the absence of increased willpower. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 27, p. 9786-9791, 2014.
- MARMOL, A. M.; PUERTO, J.; FERNANDEZ, F. R. (2002) Sequential incorporation of imprecise information in multiple criteria decision processes. **European Journal Operations Research**, v. 137, p. 123–133, 2002.
- MASSAR, S. A.; LIM, J.; SASMITA, K.; CHEE, M. W. Rewards boost sustained attention through higher effort: A value-based decision making approach. **Biological psychology**, v. 120, p. 21-27, 2016.
- MCMAHAN, T.; PARBERRY, I.; PARSONS, T. D. Evaluating Player Task Engagement And Arousal Using Electroencephalography. **Procedia Manufacturing**, v. 3, p. 2303-2310, 2015.
- MICHEL, C. M.; HENGGELER, B.; BRANDEIS, D.; LEHMANN, D. Localization of sources of brain alpha/theta/delta activity and the influence of the mode of spontaneous mentation. **Physiological Measurement**, v. 14, n. 4A, p. A21, 1993.
- MILTNER, W. H.; BRAUN, C.; ARNOLD, M.; WITTE, H.; TAUB, E. Coherence of gamma-band EEG activity as a basis for associative learning. **Nature**, v. 397, n. 6718, p. 434-436, 1999.

- MONTE, M. B. S.; MORAIS, D. C. A decision model for identifying and solving problems in an urban water supply system. **Water Resour Manag.** v. 33, p. 4835–4848, 2019.
- MULLER-PUTZ, G. R.; RIEDL, R.; WRIESSNEGGER, S. C. Electroencephalography (EEG) as a research tool in the information systems discipline: foundations, measurement, and applications, **CAIS**, v. 37, n. 46, 2015. DOI: 10.17705/1CAIS.03746
- NAKAMURA, K. Information seeking criteria: artificial intelligence, economics, psychology, and neuroscience. **Reviews in the Neurosciences**, v. 33, n. 1, p. 31-41, 2021.
- ORTEGA, P.; BRAUM, D.; DYER, J.; KIM, K.; TISHBY, N. **Information-Theoretic Bounded Rationality**. ArXiv:1512.06789, 2015.
- PERGHER, I.; DE ALMEIDA, A. T. de Almeida. A multi-attribute, rank-dependent utility model for selecting dispatching rules. **J. Manuf. Syst.**, v. 46, p. 264-271, 2018.
- PERGHER, I.; FREJ, E. A.; ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T. Integrating simulation and FITradeoff method for scheduling rules selection in job-shop production systems. **International Journal of Production Economics**, v. 227, p. 107669, 2020.
- PIZZAGALLI, D. A. **Electroencephalography and high-density electrophysiological source localization**. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 56–84). Cambridge: Cambridge University Press. 2007.
- POPE, A. T.; BOGART, E. H.; BARTOLOME, D. S. Biocybernetic system evaluates indices of operator engagement in automated task. **Biological psychology**, v. 40, n. 1-2, p. 187-195, 1995.
- RIEDL, R.; DAVIS, F. D.; HEVNER, A. R. Towards a NeuroIS research methodology: intensifying the discussion on methods, tools, and measurement. **Journal of the Association for Information Systems**, v. 15, n. 10, 2014.
- ROBERTSON, D. C., VOEGTLIN, C., MAAK, T. Business ethics: The promise of neuroscience. **Journal of Business Ethics**, v. 144, n. 4, p. 679-697, 2017.
- RODRIGUES, J. M. M.; KANG, T. H. A.; DE ALMEIDA, A. T. Seleção de Fornecedores de Equipamentos em Empresas de Pesquisa Agropecuária: Aplicação de Duas Abordagens MCDM/A a Cenários Distintos. *In: XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 2017. [Anais..]*. Blumenau: XLIX SBPO 2017.
- ROSELLI, L. R. P.; ALMEIDA, A. T. Cognitive Analysis for Improving Preference Elicitation Confidence of Scale Constants in Multi-Attribute Value Theory. *In: SOCIETY FOR NEUROECONOMICS, 2017, Toronto, Canadá. Proceedings[...]*. Canadá: SNE, 2017.
- ROSELLI, L. R. P.; FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Designing Preference Modeling for FITradeoff Method with Decision Neuroscience Experiments. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUP DECISION AND NEGOTIATION, 2017, Stuttgart, Alemanha. Proceedings[...]*. Alemanha: GDN 2017.

- ROSELLI, L. R. P.; FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Using Neuroscience Graphical Visualization in the FITradeoff DSS. In: INFORMS INTERNATIONAL CONFERENCE, 2018a, Taipei. **Proceedings[...]**. Taipei: INFORMS 2018a.
- ROSELLI, L. R. P.; FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Improving Graphical Visualization in the FITradeoff DSS Using Neuroscience Experiment. In: INFORMS INTERNATIONAL CONFERENCE, 2018b, Taipei. **Proceedings[...]**. Taipei: INFORMS 2018b.
- ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A. Decision neuroscience for improving data visualization of decision support in the FITradeoff method. **Operational Research**, v. 19, p. 933-953, 2019.
- ROSELLI, L. R. P. *et al.* Neuroscience experiment applied to investigate decision-maker behavior in the tradeoff elicitation procedure. **Annals of Operations Research**, v. 289, n. 1, p. 1-19, 2020.
- ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T. Use of Alpha-Theta Diagram as a decision neuroscience tool for analyzing holistic evaluation in Decision making. **Annals of Operation Research**, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04495-1>
- ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Berlim: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- SÁ-SILVA, J. R.; ALMEIDA, C. D., GUINDANI, J. F. Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**. n. 1, p. 1-15, jul., 2009.
- SALO, A. A.; HÄMÄLÄINEN, R. P. Preference assessment by imprecise ratio statements. **Operations Research**, v. 40, n. 6, p. 1053-1061, 1992.
- SALO, A. A.; HAMALAINEN, R. P. Preference ratios in multiattribute evaluation (PRIME)-elicitation and decision procedures under incomplete information. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans**, v. 31, n. 6, p. 533-545, 2001.
- SALO, A.; PUNKKA, A. Rank inclusion in criteria hierarchies. **European Journal of Operational Research**, v. 163, n. 2, p. 338-356, 2005.
- SANTOS, I. M. *et al.* A supplier selection model for a wholesaler and retailer company based on FITradeoff multicriteria method. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2020, p. 1-14, 2020.
- SMITH, D. V.; HUETTEL, S. A. Decision neuroscience: neuroeconomics. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science**, v. 1, n. 6, p. 854-871, 2010.
- SOUZA, R. K; KERBAUY, M, M. Abordagem quanti-qualitativa: superação da dicotomia quantitativa-qualitativa na pesquisa em educação. **Educação e Filosofia**, Uberlândia, v. 31, n. 61, p. 21-44, 2017.
- SUN, H. *et al.* Framing a trust game as a power game greatly affects interbrain synchronicity between trustor and trustee. **Social Neuroscience**, v. 14, n. 6, p. 635–648, 2019.

TOPLAK, M.; West, R.; Stanovich, K. The Cognitive Reflection Test as a predictor of performance on heuristics-and-biases tasks. **Memory and Cognition**, v. 39, 1275 – 1289, 2011.

VAN D., *et al.* Neural mechanisms underlying compensatory and noncompensatory strategies in risky choice. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 28, n. 9, p. 1358-1373, 2016.

VENKATRAMAN, V. Why bother with the brain? A role for decision neuroscience in understanding strategic variability. **Progress in brain research**, v. 202, p. 267-288, 2013.

VINCKE, J. P.; BRANS, P. H. A preference ranking organization method. The PROMETHEE method for MCDM. **Management Science**, v. 31, n. 6, p. 647-656, 1985.

VON WINTERFELDT, D., EDWARDS W. **Decision analysis and behavioral research**, 1986.

WANG, Xi *et al.* Nucleus accumbens core mammalian target of rapamycin signaling pathway is critical for cue-induced reinstatement of cocaine seeking in rats. **Journal of Neuroscience**, v. 30, n. 38, p. 12632-12641, 2010.

WASCHERA, E.; RASCH, B.; SANGER, J.; HOFFMANN, S.; SCHNEIDER, D.; RINKENAUER, G. *et al.* Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. **Biological Psychology**, v. 96, p. 57-65, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.11.010>

WALLENIOUS, H; WALLENIOUS, J. Implications of World Mega Trends for MCDM Research. In: BEN AMOR, S., DE ALMEIDA, A., DE MIRANDA, J, AKTAS, E. (Eds.). **Advanced Studies in Multi-Criteria Decision Making**. New York: Chapman and Hall/CRC, **Series in Operations Research**, 1a Ed, p. 1-10, 2020.

WALLENIOUS, J. *et al.* Multiple criteria decision making, multiattribute utility theory: Recent accomplishments and what lies ahead. **Management science**, v. 54, n. 7, p. 1336-1349, 2008.

WEBER, M. Decision making with incomplete information. **European Journal of Operational Research**, v. 28, n. 1, p. 44-57, 1987.

WEBER, M.; BORCHERDING, K. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. **European Journal of Operational Research**, v. 67, n. 1, p. 1-12, 1993.

WESTBROOK, A; KESTER, D; BRAVER, T. What is the subjective cost of cognitive effort? Load, trait and ageing effects revealed by economic preference. **PLoS One**, v. 8, n. 7, p. 1-8, 2013. doi:10.1371/journal.pone.0068210

WESTBROOK, A.; BRAVER, T. S. Cognitive effort: A neuroeconomic approach. **Cognitive, Affective e Behavioral Neuroscience**, v. 15, n. 2, p. 395-415, 2015.

WU, C.; CHA, J.; SULEK, J.; SUNDARAM, C. P.; WACHS, J.; PROCTOR, R. W.; YU, D. Sensor-based indicators of performance changes between sessions during robotic surgery training. **Applied Ergonomics**, v. 90, p. 103251, Elsevier BV, 2021.

ZHAO, Y.; ZHAO, X.; WANG, L.; CHEN, Y.; ZHANG, X. Does elicitation method matter? Behavioral and neuroimaging evidence from capacity allocation game. **Production and Operations Management**, v. 25, n. 5, p. 919–934, 2016.

ZHAO, Y.; SIAU, K. Cognitive neuroscience in Information systems research. **Journal of Database Management (JDM)**, v. 27, n. 1, p. 58-73, 2016.

ZHENG, C.; HWAUN, E.; LOZA, C.A. *et al.* Hippocampal place cell sequences differ during correct and error trials in a spatial memory task. **Nature Communications**. v. 12, n. 3373, 2021.