



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

LEYDIANA DE SOUSA PEREIRA

**AVALIAÇÃO DO PROCEDIMENTO *TRADEOFF* DE ELICITAÇÃO DE
PREFERÊNCIAS EM DECISÃO MULTIATRIBUTO NA PERSPECTIVA
COMPORTAMENTAL DO DECISOR**

Recife

2020

LEYDIANA DE SOUSA PEREIRA

**AVALIAÇÃO DO PROCEDIMENTO *TRADEOFF* DE ELICITAÇÃO DE
PREFERÊNCIAS EM DECISÃO MULTIATRIBUTO NA PERSPECTIVA
COMPORTAMENTAL DO DECISOR**

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

Área de concentração: Gerência da Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Danielle Costa Moraes.

Recife

2020

P436a	Pereira, Leydiana de Sousa. Avaliação do procedimento <i>tradeoff</i> de elicitação de preferências em decisão multiatributo na perspectiva comportamental do decisor / Leydiana de Sousa Pereira. - 2020. 168 folhas, il., gráfs., tabs. Orientadora: Profa. Dra. Danielle Costa Moraes. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2020. Inclui Referências e Apêndices. 1. Engenharia de Produção. 2. Processo decisório. 3. Elicitação de preferências. 4. Procedimento <i>tradeoff</i>. 5. Comportamento. I. Moraes, Danielle Costa (Orientadora). II. Título. UFPE 658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2021-49
-------	---

LEYDIANA DE SOUSA PEREIRA

**AVALIAÇÃO DO PROCEDIMENTO *TRADEOFF* DE ELICITAÇÃO DE
PREFERÊNCIAS EM DECISÃO MULTIATRIBUTO NA PERSPECTIVA
COMPORTAMENTAL DO DECISOR**

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

Aprovada em: 23/12/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Danielle Costa Moraes (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Ana Paula Cabral Seixas Costa (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Luciana Hazin Alencar (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Luciano Costa Santos (Examinador Externo)
Universidade Federal da Paraíba

Prof. PhD. Kazuo Hatakeyama (Examinador Externo)
Sociedade Educacional de Santa Catarina

.

Dedico este trabalho aos meus pais, agradeço por acreditarem verdadeiramente,
em mim.

Um carinhoso abraço!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelas oportunidades, coragem e força para superar as dificuldades no decorrer dessa jornada. Foram imensas as barreiras e provas a serem vencidas, e só Ele conhece os limites que foram superados para a conclusão desta Pesquisa.

Aos meus pais, João Henrique e Alzenir; a minha irmã, Leidjane; e ao meu noivo, Wagner, pelo apoio, amor e paciência. Sem vocês não teria conseguido, amo vocês!

A minha orientadora, a Prof.^a Danielle Moraes, pelo apoio acadêmico e pessoal. Agradeço todos os diálogos e as oportunidades de parcerias nos estudos empreendidos nessa trajetória desde o mestrado. Obrigada pelos conhecimentos compartilhados!

Ao PPGE/UFPE, em especial aos professores por todos os ensinamentos acadêmicos, e a secretaria do curso, sempre solícitos nas questões administrativas.

Aos examinadores da tese, internos (Prof.^a Ana Paula Cabral e Prof.^a Luciana Alencar) e externos (Prof. Luciano Santos e Prof. Kazuo Hatakeyama), por todas as considerações realizadas nesta tese e pelos conhecimentos compartilhados. Todas suas contribuições foram de grande valia para o enriquecimento da pesquisa

Ao Prof. André Marques, orientador durante a graduação em Administração, e acompanhou todos meus passos durante o mestrado e doutorado. Agradeço todos os aconselhamentos e o apoio.

Acredito que Deus envia anjos para nos proteger e nos guiar pelos caminhos da vida. Nesta trajetória do Doutorado agradeço a dois anjos, a Alexandra e a Andrea. Vocês tornaram esse caminho mais leve, possível e me ensinaram a ver o lado bom das coisas e a superar os obstáculos.

Ao CNPq e a CAPES pelas bolsas de doutorado concedidas.

Aos colegas de laboratório NSID e DNW.

E a todos que contribuíram indiretamente para a concretização desta pesquisa.

Muito obrigada!

RESUMO

A elicitación de preferências constitui uma fase fundamental do processo de tomada de decisão multicritério. O procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências permite, por meio de uma robusta estrutura axiomática, a determinação das constantes de escala dos critérios, mas requer um alto esforço cognitivo ao decisor por exigir a determinação dos pontos exatos de indiferença entre as consequências. Neste sentido, compreender esses aspectos subjetivos durante a modelagem de preferências constitui um avanço aos estudos dos processos decisórios. Nessa perspectiva, foram realizadas duas atividades experimentais com o uso de ferramentas de neurociência (eletroencefalograma e *eye-tracker*) e de Sistema de Apoio a Decisão (SAD) para a avaliação do comportamento do decisor durante o desenvolvimento do procedimento *tradeoff*. Dentre os aspectos cognitivos analisados estão a atenção, a memória de trabalho e o engajamento do decisor. Foi possível elencar quais as etapas do procedimento *tradeoff* requerem um maior esforço cognitivo, além de acompanhar a variação desse esforço durante a elicitación de preferências mediante as análises na estrutura do problema de decisão. Como resultado da pesquisa, *insights* e recomendações para modelagem de problemas de decisão com uso do procedimento *tradeoff* puderam ser estabelecidos, dentre os quais: a quantidade de critérios que é confortável para análise do decisor (entre cinco ou seis), a indicação do balanceamento da natureza dos critérios (quantitativo e qualitativo), e o uso da função bisseção para avaliação dos critérios apenas quando o decisor se julgar indeciso quanto a linearidade. A compreensão desses aspectos cognitivos tende a proporcionar melhorias nas abordagens de apoio a decisão, de modo a permitir maior flexibilização, usabilidade e efetividade dos sistemas.

Palavras-chave: Processo decisório. Elicitación de preferências. Procedimento *tradeoff*. Comportamento.

ABSTRACT

The preference elicitation is a fundamental phase of the decision-making process. The tradeoff procedure presents a robust axiomatic structure, which enables a complete elicitation of scale constants values for each criterion, but it requires a great effort to the decision-maker to determine the exact indifference points between the consequences. In this sense, understand subjective aspects during the preferences modeling represents an advance in the decision-making processes studies. From this perspective, two experimental activities were developed with the use of neuroscience tools (electroencephalogram and eye-tracker) and a Decision Support System (DSS) to assess the decision-maker' behavior during the development of the tradeoff procedure. Among the cognitive aspects, attention, working memory, and engagement are analyzed. It was possible to list which tradeoff' steps require greater cognitive effort, and monitored the effort variation during the preference elicitation procedure through the analysis of the decision problem structure. As a result of the search, some insights and recommendations for modeling decision problems using the tradeoff procedure could be established, among which: the number of criteria that the decision-maker is able to evaluate in a comfortable way (between five or six), the nature of the criteria must be balanced (quantitative and qualitative), and the bisection function use to evaluate the criteria only when the decision-maker considers himself undecided as to linearity. The understanding of these cognitive aspects tends to provide improvements in the decision support approach, in order to allow greater flexibility, usability, and effectiveness.

Keywords: Decision process. Preference elicitation. Tradeoff procedure. Behavior.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da estrutura da tese	21
Figura 2- Fluxograma do procedimento de elicitação tradeoff	28
Figura 3 - Avaliação intracritério	29
Figura 4 - Equipamento eye-tracker Tobii X-120	42
Figura 5 - Equipamento neuroheadset Emotiv EPOC®	46
Figura 6 - a. Sistema Internacional 10/20. b. Configuração dos eletrodos no Emotiv EPOC .	46
Figura 7 - Esquematização das metodologias empregadas nos estudos de caso	49
Figura 8 - Mapa bibliométrico para os termos neuroeconomics e decision.....	51
Figura 9 - Mapa bibliométrico para o termo consumer neuroscience	54
Figura 10 - Mapa bibliométrico para o termo neuroIS	57
Figura 11 - Fluxograma do procedimento experimental.....	64
Figura 12 - Representação da calibração do eye-tracker	66
Figura 13 - Layout da sessão experimental.....	67
Figura 14 - Exemplificação de componentes artefatuosos.....	74
Figura 15 - Parâmetros de análise do SASICA	75
Figura 16 - Estrutura dos estímulos (Experimento 1).....	77
Figura 17 - Design do estímulo da Etapa 1 (Experimento I).....	78
Figura 18 - Design do estímulo da Etapa 2 (Experimento I).....	79
Figura 19 - Design do estímulo da Etapa 3 (Experimento I).....	80
Figura 20 - Design do estímulo da Etapa 4 (Experimento I).....	81
Figura 21 - Variação da amplitude da pupila. a. Etapa 1. b. Etapa 3. c. Etapa 5.....	86
Figura 22 - Variação da amplitude da pupila em série temporal.....	89
Figura 23 - Estrutura dos estímulos (Experimento 2).....	103
Figura 24 - Design do estímulo referente à Etapa 1 (Experimento II).....	104
Figura 25 - Design do estímulo referente à Etapa 2 (Experimento II).....	105
Figura 26 - Design do estímulo referente à Etapa 3 (Experimento II).....	106
Figura 27 - Design do estímulo referente à Etapa 4 (Experimento II).....	107
Figura 28 - Design do estímulo referente à Etapa 5 (Experimento II).....	108
Figura 29 - Segmentação da Etapa 4.....	116
Figura 30 - Fluxograma dos insights e recomendações	133
Figura 31 - Apresentação do sistema de recomendação	142

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Representação da função valor pelo método da bisseção.....	33
Gráfico 2 - Distribuição do tempo de resposta por número de critério.....	90
Gráfico 3 - Distribuição do tempo de resposta por tipo de critério	91
Gráfico 4 - Comportamento do diâmetro da pupila (Estudo 2).....	97
Gráfico 5 - Plots da correlação. a. Etapa 2. b. Etapa 3.....	114
Gráfico 6 - Índices médios da FAA com erro de 95%.....	115
Gráfico 7 - O ERP no eletrodo F7-F3 (média) para a Etapa 4	115
Gráfico 8 - Correlações pupilares para análise de memória de trabalho na Etapa 4	118
Gráfico 9 - Variações da amplitude da pupila para cada grupo por etapa experimental	123
Gráfico 10 - Índices FAA de acordo o número de critérios	125
Gráfico 11 - Índices FAA de acordo o tipo predominante de critério	126
Gráfico 12 - Padrão de comportamento pupilar	127
Gráfico 13 - Ordenação de nível de dificuldade na ausência de inconsistência.....	139
Gráfico 14 - Ordenação de nível de dificuldade na presença de inconsistência	139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Representação de uma matriz de consequência	24
Tabela 2 - Equipamentos de neurociência em estudos relacionado a tomada de decisão	40
Tabela 3 - Modelo da matriz de consequência (Experimento I).....	77
Tabela 4 - Resultados do procedimento tradeoff para o problema de seleção de fornecedor..	81
Tabela 5 - Dados pupilares (Estudo I)	85
Tabela 6 - Resultados da ANOVA repetida com correção de Bonferroni ($\alpha=0,05$)	87
Tabela 7 - Inconsistências encontradas nos casos estruturados.....	97
Tabela 8 - Coeficiente de correlação de Pearson entre tamanho da pupila e RT	98
Tabela 9 - Análise FAA entre as Etapas 2 e 3.....	99
Tabela 10 - Análise da banda Theta nos eletrodos frontais (Etapa 3 versus Etapa 4)	99
Tabela 11 - Matriz de consequência do problema de seleção de portfólio	103
Tabela 12 - Resultados do procedimento tradeoff para o problema de seleção de portfólio .	109
Tabela 13 - Estatística descritiva para as análises pupilares	113
Tabela 14 - Resultados da ANOVA repetida com correção de Bonferroni	124
Tabela 15 - Variação do RT (Estudo 4)	128

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOI	Areas of Interested
CDSID	Centro de Sistemas de Decisão e Desenvolvimento da Informação
CEP	Comitê de ética
EEG	Electroencephalography
ELECTRE	Elimination et Choix Traduisant la Réalité
ERP	Event-Related Potential
FAA	Frontal Alpha Asymmetry
FITradeoff	Flexible and Interactive Tradeoff
fMRI	Functional Magnetic Resonance Imaging
Hz	Hertz
LC	Locus Coeruleus
MAUT	Multi-attribute Utility Theory
MAVT	Multi-Attribute Value Theory
MCDM/A	Multi-Criteria Decision Making/Aiding
Mm	Milímetro
Ms	Milissegundos
NIRS	Near-infrared Spectroscopy
NSID	NeuroScience for Information and Decision
PAI	Prefrontal Asymmetry Index
PMLO	Programação Linear Multiobjetivo
PRIME	Preference Ratios in Multi-Attribute Evaluation
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
RICH	Rank Inclusion in Criteria Hierarchies
RT	Response Time
SAD	Sistemas de Apoio a Decisão
SBRP	Sistema Básico de Relações de Preferências
SMARTS	Simple Multi-Attribute Rating Technique
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
VBA	Visual Basic Application

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	RELEVÂNCIA	18
1.3	OBJETIVOS	19
1.3.1	Objetivo geral	19
1.3.2	Objetivos específicos.....	19
1.4	METODOLOGIA.....	20
1.5	ESTRUTURA DA TESE.....	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA.....	23
2.1	MÉTODOS DE APOIO A DECISÃO MULTICRITÉRIO	23
2.1.1	Estrutura de preferências	25
2.1.2	Classificação dos métodos MCDM/A.....	25
2.1.3	Teoria da Utilidade Multiatributo	26
2.1.4	Procedimento aditivo <i>tradeoff</i> de elicitação de preferência	27
2.1.4.1	Etapa 1 – Avaliação intracritério.....	28
2.1.4.2	Etapa 2 – Ordenação dos critérios.....	29
2.1.4.3	Etapa 3 – Exploração do espaço consequência	30
2.1.4.4	Etapa 4 – Obtenção das constantes de escala	30
2.1.4.5	Etapa 5 – Avaliação de inconsistências.....	31
2.1.4.6	Etapa 6 – Resultados e finalização	32
2.1.5	Método da bisseção.....	32
2.2	SISTEMA DE APOIO A DECISÃO (SAD)	34
2.3	A TOMADA DE DECISÃO E OS ESTUDOS DA NEUROCIÊNCIA.....	35
2.3.1	Equipamentos de neurociência e suas métricas de análise	37
2.3.1.1	<i>Eye-tracker</i>	39
2.3.1.2	Electroencefalograma (EEG).....	43
2.4	TENDÊNCIAS DOS ESTUDOS COMPORTAMENTAIS ALINHADOS A TOMADA DE DECISÃO	47
2.4.1	DIFICULDADES DO PROCESSO DE ELICITAÇÃO DE PREFERÊNCIAS	47
2.4.2	A perspectiva comportamental na tomada de decisão em geral.....	50
2.4.3	A perspectiva comportamental na tomada de decisão multicritério	59
2.5	SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTE	

	TRABALHO.....	62
3	EXPERIMENTOS COM FERRAMENTAS DE NEUROCIÊNCIA PARA A MODELAGEM DE PREFERÊNCIAS EM DECISÃO MULTICRITÉRIO	63
3.1	PARTICIPANTES	63
3.2	MÉTODOS E PROCEDIMENTOS.....	64
3.2.1	Atividades exigidas na execução do experimento	68
3.2.2	Processamento de dados.....	72
3.3	EXPERIMENTO I	76
3.3.1	Estudo 1.....	82
3.3.1.1	Hipóteses de pesquisa.....	82
3.3.1.2	Resultados.....	85
3.3.1.3	Discussão dos resultados	91
3.3.2	Estudo 2.....	95
3.3.2.1	Hipótese de pesquisa	95
3.3.2.2	Resultados.....	96
3.3.2.3	Discussão dos resultados	100
3.4	EXPERIMENTO II	102
3.4.1	Estudo 3.....	110
3.4.1.1	Hipóteses.....	110
3.4.1.2	Resultados.....	112
3.4.1.3	Discussão dos resultados	117
3.4.2	Estudo 4.....	119
3.4.2.1	Hipóteses.....	120
3.4.2.2	Resultados.....	121
3.4.2.3	Discussão dos resultados	128
3.5	COMPARAÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	130
3.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	132
4	<i>INSIGHTS</i> E RECOMENDAÇÕES	133
4.1	<i>INSIGHTS</i> E RECOMENDAÇÕES PARA A ESTRUTURA DO PROBLEMA DE DECISÃO	135
4.1.1	Recomendações para a quantidade de critérios no problema de decisão.....	135
4.1.2	Recomendações para a natureza do conjunto de critérios no problema de decisão.....	136
4.2	<i>INSIGHTS</i> E RECOMENDAÇÕES PARA O DESENHO DO SAD <i>TRADEOFF</i> .	138

4.2.1	Uso do método da bisseção no procedimento <i>tradeoff</i>	138
4.2.2	Disponibilizar o sistema de recomendações.....	140
4.2.3	Simplificar a apresentação das inconsistências	142
4.3	INSIGHTS E RECOMENDAÇÕES PARA A INTERAÇÃO ENTRE O ANALISTA E O DECISOR	143
4.3.1	Analisar as condições físicas e mentais dos decisores.....	143
4.3.2	Considerar a interferência da variável tempo de resposta	144
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO	144
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	145
5.1	CONCLUSÕES.....	145
5.2	LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	146
	REFERÊNCIAS.....	149
	APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO – CEP/UFPE.....	164
	APÊNDICE B – PLANILHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES PESSOAIS	165
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO	166

1 INTRODUÇÃO

A modelagem de preferências é uma questão complexa nos estudos do processo de tomada de decisão. Leotti, Yengar e Ochsner (2010) argumentaram que o ser humano "nasceu para escolher", mesmo à custa da racionalidade. Portanto, compreender os fatores que afetam o comportamento do decisor durante a formação de preferência é desafiador e essencial para o entendimento dos mecanismos envolvidos na tomada de decisão.

Segundo Krucien, Ryan e Hermens (2017), as preferências estão condicionadas às circunstâncias em que foram modeladas. Dragone, Teso e Passerini (2018) propõem que as preferências do decisor podem ser submetidas a influências de fatores internos (limitações humanas naturais, como atenção, memória de trabalho e conhecimento) e fatores externos (quantidade de informação, pressões, tempo etc.).

Nessa perspectiva, é importante ressaltar que Fiske e Taylor (1984) descreveram os indivíduos como “avarentos cognitivos”. Essa evidência havia sido anteriormente pontuada por Kahneman (1973) em sua Teoria do Esforço Mental, que diante de tratar uma quantidade limitada de princípios heurísticos, propõe que o indivíduo tende a reduzir tarefas complexas para julgamentos mais simples. Essas descobertas levantam a curiosidade acerca do comportamento do decisor no desenvolvimento de problemas de natureza complexa, como é no caso dos problemas de decisão multicritério.

No contexto da tomada de decisão multicritério (do inglês *Multi-Criteria Decision Making/Aiding*, MCDM/A) diversos estudos e modelos foram desenvolvidos, porém não consideraram os aspectos comportamentais que são próprios ao processo decisório (MARTINS; de ALMEIDA; MORAIS, 2019; SILVA *et al.*, 2017; PEREIRA; MORAIS, 2020; YI *et al.*, 2017; AGARWAL; GARG, 2016).

Especificamente, no âmbito MCDM/A o procedimento *tradeoff* desenvolvido por Kenney e Raiffa (1976), consiste em uma abordagem usual para obter as preferências do decisor. O procedimento *tradeoff* apresenta uma estrutura axiomática robusta, que permite uma eliciação completa dos valores das constantes da escala para cada critério através de comparação par a par. Consequentemente, difere de outras abordagens que fornecem informações parciais, como: SMARTS (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*) (EDWARDS; BARRON, 1994), PRIME (*Preference Ratios in Multi-Attribute Evaluation*) (SALO; HÄMÄLÄINEN, 2001) e RICH (*Rank Inclusion in Criteria Hierarchies*) (SALO; PUNKKA, 2005). Em essência, a robustez do procedimento *tradeoff* está relacionada à identificação do ponto de indiferença (um valor exato que expressa igualdade entre duas

consequências) nas comparações pareadas (KEENEY; RAIFFA, 1976; 1978). E, de acordo com Amenta, Lucadamo e Marcarelli (2020) as comparações aos pares constituem as abordagens comumente utilizadas para representar preferências nos casos de problemas de decisão com vários critérios.

Aloysius *et al.* (2006) desenvolveram um estudo para comparar abordagens de elicitação de preferências em termos de precisão, esforço e conflito. Em uma dessas abordagens confrontou a comparação aos pares (procedimento *tradeoff*) e a comparação por medida absoluta (que representa avaliações conjuntas *versus* avaliações separadas). Nesta investigação, o procedimento de comparação aos pares apresentou-se como mais trabalhoso e detendo maior potencial para desenvolver inconsistências.

Atualmente, existem melhoramentos na perspectiva metodológica do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências, tal como proposto por Almeida *et al.* (2016) no método *FITradeoff* (*Flexible and Interactive Tradeoff*). Este método permite elicitar as preferências do decisor e determinar as constantes da escala dos critérios por informações parciais; conseqüentemente, não é necessário identificar pontos de indiferença como no procedimento *tradeoff*.

De acordo com Dragone, Teso e Passerini (2018), para obter uma solução em um processo decisório, o decisor precisa declarar suas preferências proporcionando aprendizado. Dessa forma, modelos teóricos propõem que o processo de tomada de decisão envolva a acumulação ao longo do tempo de informações subjetivas para analisar dados concretos (DRAGONE; TESO; PASSERINI, 2018; FISCHER; PERES; FIORANI, 2018). Conseqüentemente, o decisor pode apresentar dificuldades para declarar suas preferências na avaliação alternativas em um processo de tomada de decisão, devido a uma possível sobrecarga cognitiva. Essas descobertas reforçam as evidências de Weber e Borcherding (1993) quanto à necessidade de inclusão de aspectos comportamentais na análise sequencial de decisão com múltiplos critérios.

Eagleman (2015) discute que os indivíduos não são racionais em todas as suas ações, de modo que em muitas situações coexiste uma integração da racionalidade e da inconsciência. Rey *et al.* (2019) reforçam a importância da construção de modelos cognitivos que demonstram os efeitos da quantidade e ordem de informações de primazia para processos complexos de tomada de decisão.

De modo geral, as cargas cognitivas afetam os processos de decisão nos mais distintos aspectos. Os indivíduos submetidos a um “estresse cognitivo” passam a deter um comportamento avesso ao risco (BENJAMIN; BROWN; SHAPIRO, 2013), tornam-se

impacientes (DECK; JAHEDI, 2015), tendem a agir de maneira aleatória (FRANCO-WATKINS; PASHLER; RICKARD, 2006); tendem a cometer falhas ao processar informações (GILBERT; PELHAM; KRULL, 1988), além de serem susceptíveis a ancoragem (DECK; JAHEDI, 2015). Portanto, compreender os aspectos cognitivos para desenvolver melhorias nos métodos de apoio a decisão corresponde a uma perspectiva de importância.

Os equipamentos de neurociência podem contribuir com a elucidação do comportamento do decisor em um processo de tomada de decisão. Dentre os equipamentos comumente utilizados, tem-se o *eye-tracker* (responsável por obter dados do rastreamento ocular) e o eletroencefalograma (do inglês *electroencephalography*, EEG) (responsável por obter dados da atividade elétrica do cérebro). Em termos comportamentais, a dilatação da pupila reflete o sistema do *Locus Coeruleus* (LC) do cérebro, que regula a atenção e a excitação fisiológica, e representa uma métrica da dificuldade subjetiva da tarefa e do esforço mental (VAN DER WEL; VAN STEENBERGEN, 2018; ECKSTEIN *et al.*, 2017). Na presente pesquisa, as evidências neurais detiveram foco nas oscilações *alpha* e *beta*, pois são indicadores da atenção, memória de trabalho e engajamento, fatores esses envolvidos no processo de cognição (BAZANOVA; VERNON, 2014; BASAR, 2012; KLIMESCH *et al.*, 1998; POPE; BOGART; BARTOLOME, 1995). Com o alinhamento desses equipamentos à tomada de decisão, desenvolve-se uma abordagem capaz de avaliar o comportamento do decisor durante o procedimento *tradeoff*.

1.1 JUSTIFICATIVA

Embora vários sistemas e métodos de apoio a decisão tenham sido desenvolvidos nas últimas décadas, poucos, até o presente momento, são marcados em sua estrutura por uma análise comportamental. Portanto, tem-se uma elevada gama de sistemas e métodos, que conduzem a soluções satisfatórias, mas são desconhecidos os esforços cognitivos do decisor.

Esta pesquisa foi empreendida com o objetivo de explorar o procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências na modelagem de problemas de decisão multicritério e o comportamento do decisor relacionado ao processamento cognitivo. Dessa forma, foram desenvolvidas duas atividades experimentais, com intuito de capturar dados comportamentais do decisor, com o suporte de equipamentos de neurociência (*eye-tracker* e EEG).

O incremento na complexidade dos ambientes de decisão, os avanços tecnológicos em conjunto com a busca por soluções eficientes, explicita a necessidade de tornar conhecidos os fatores comportamentais, especialmente os que tangem a esfera cognitiva, durante o processo de tomada de decisão. Para reforçar essa assertiva, McDonald e Pearson (2019) pontuam que

os processos neurológicos e psicológicos subjacentes à tomada de decisão são de essencial importância para compreender a estrutura da inteligência humana. E, Hopfinger e Slotnick (2020) afirmam que manter informações importantes ativas e acessíveis corresponde a uma operação mental específica e crítica para atenção durante qualquer atividade de decisão.

Pesquisadores têm devotado esforços sucessivos em busca de elucidar os fatores cognitivos presentes em situações de decisão nos mais diversos contextos, sejam econômicos, sociais, financeiros, marketing, entre outros, além de envolver diferentes circunstâncias, como pressão externa e interna, restrições de tempo e de recursos (MILETIĆ; VAN MAANEN, 2019; FECHNER; SCHOOLER; PACHUR, 2018; HAKIMI; HARE, 2015). Por sua vez, Choi, Park e Shin (2017) desenvolveram estudos que mostram promissores resultados ao alinhar a aplicação de métodos de pesquisa operacional à análise de dados psicofisiológicos.

No entanto, percebe-se que os estudos comumente desenvolvidos detêm características não sequenciais, imersos em contexto de decisões simples e não necessariamente preocupados com a modelagem das preferências do decisor. É importante observar o papel que a repetição em escolhas conjuntas influencia na capacidade do decisor em derivar as suas preferências. Pois, a repetição permite estimar a atratividade da alternativa, a importância dos atributos, bem como a utilidade dos recursos em cada escolha (MEIßNER, MUSALEM e HUBER, 2016).

1.2 RELEVÂNCIA

De acordo com Kahneman (1973), a tomada de decisão apresenta-se diretamente relacionada aos contextos sociais e emocionais, de modo que o julgamento do decisor está sujeito à influência de fatores psicológicos e cognitivos. Druzdzel e Flynn (2002) propuseram que o julgamento humano e a tomada de decisão podem não estar sendo exercidas de forma ideal, e diante de problemas complexos, encontrar uma solução apropriada torna-se ainda mais difícil. Zénon, Solopchuk e Pezzulo (2019) apontaram que o esforço cognitivo pode ser explícito em função da quantidade de informações a ser processada. No entanto, a conexão entre as propriedades cognitivas (memória, atenção, engajamento, esforço cognitivo) e o ambiente do julgamento e escolhas ainda tem sido pouco explorado.

A modelagem de preferências durante o processo de tomada de decisão é dinâmica e permite ao decisor fazer escolhas baseadas em valor (VOIGT *et al.*, 2019). As comparações pareadas são as abordagens mais comumente utilizadas para a representação de preferências em problemas de decisão multicritério. Nessas abordagens duas questões devem ser consideradas: a consistência dos julgamentos e das preferências. Os julgamentos nas

comparações podem não ser consistentes, ao deter um viés intransitivo ou irracional, impossibilitando a obtenção dos mesmos resultados por outra abordagem similar. A consistência dos julgamentos propicia a confiabilidade das preferências dados os vetores de priorização estabelecidos (AMENTA; LUCADAMO; MARCARELLI, 2020). E esses dois mecanismos podem receber respaldo analítico nos estudos comportamentais.

Assim, pesquisas nesse contexto são particularmente necessárias, pois permitem compreender a influência dos fatores comportamentais durante o desenvolvimento do processo decisório. E em especial, conhecer quais os momentos da elicitación de preferências estão sendo mais difíceis cognitivamente ao decisor, e até mesmo qual a estrutura pode ser recomendada para o problema de decisão. Consequentemente, as pesquisas nessa área, poderiam ser aprimoradas, ampliando o conhecimento. Com isto, os resultados desta pesquisa podem propiciar contribuições desde a melhoria nos próprios sistemas de decisão, considerando a usabilidade/flexibilidade, até mesmo a forma de interação decisor/analista. É importante pontuar que, até o presente momento, não foram encontrados estudos semelhantes sobre esse problema.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa foi analisar o procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências em problemas multicritério na perspectiva comportamental do decisor, por meio do uso de ferramentas da neurociência.

1.3.2 Objetivos específicos

Para subsidiar o propósito geral, define-se como objetivos específicos:

- a) Desenvolver experimentos para o estudo dos aspectos cognitivos do decisor durante a elicitación de preferências com suporte de equipamentos de neurociência;
- b) Avaliar o nível de esforço cognitivo do decisor na execução do procedimento de elicitación de preferência diante da variação na complexidade da estrutura do problema de decisão, relacionado às características dos critérios;
- c) Analisar o estudo comportamental para a identificação de melhorias pontuais para o procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências no que tange ao SAD construído;

- d) Identificar *insights* e recomendações gerais para a modelagem da elicitación de preferência diante dos estudos de perspectiva comportamental.

1.4 METODOLOGIA

Diante destes objetivos, os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa detêm características descritiva e exploratória, com natureza aplicada (GIL, 2017). A presente pesquisa, adota características descritiva, quando aborda o processo de tomada de decisão, em especial os aspectos relacionados à elicitación de preferências dos decisores, e exploratória, quando incita a importância das investigações comportamentais dos decisores nas situações de determinação das suas preferências. Sua fase aplicada refere-se à condução prática das atividades experimentais utilizando os equipamentos de neurociência necessários para a coleta dos dados subjacentes ao decisor.

A condução metodológica tem como ponto de partida a revisão da literatura em bases especializadas, de acordo com os objetivos da pesquisa. A partir do conhecimento do processo de tomada de decisão, da estrutura de preferências, dos equipamentos de neurociência e dos fatores que impactam nas habilidades dos indivíduos em situação de decisão, notou-se a necessidade emergente para o desenvolvimento de estudos relativos ao comportamento cognitivo do decisor no processo de tomada de decisão. Isto, em especial, na perspectiva da tomada de decisão, que coincide com a fase de elicitación de preferências do decisor.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

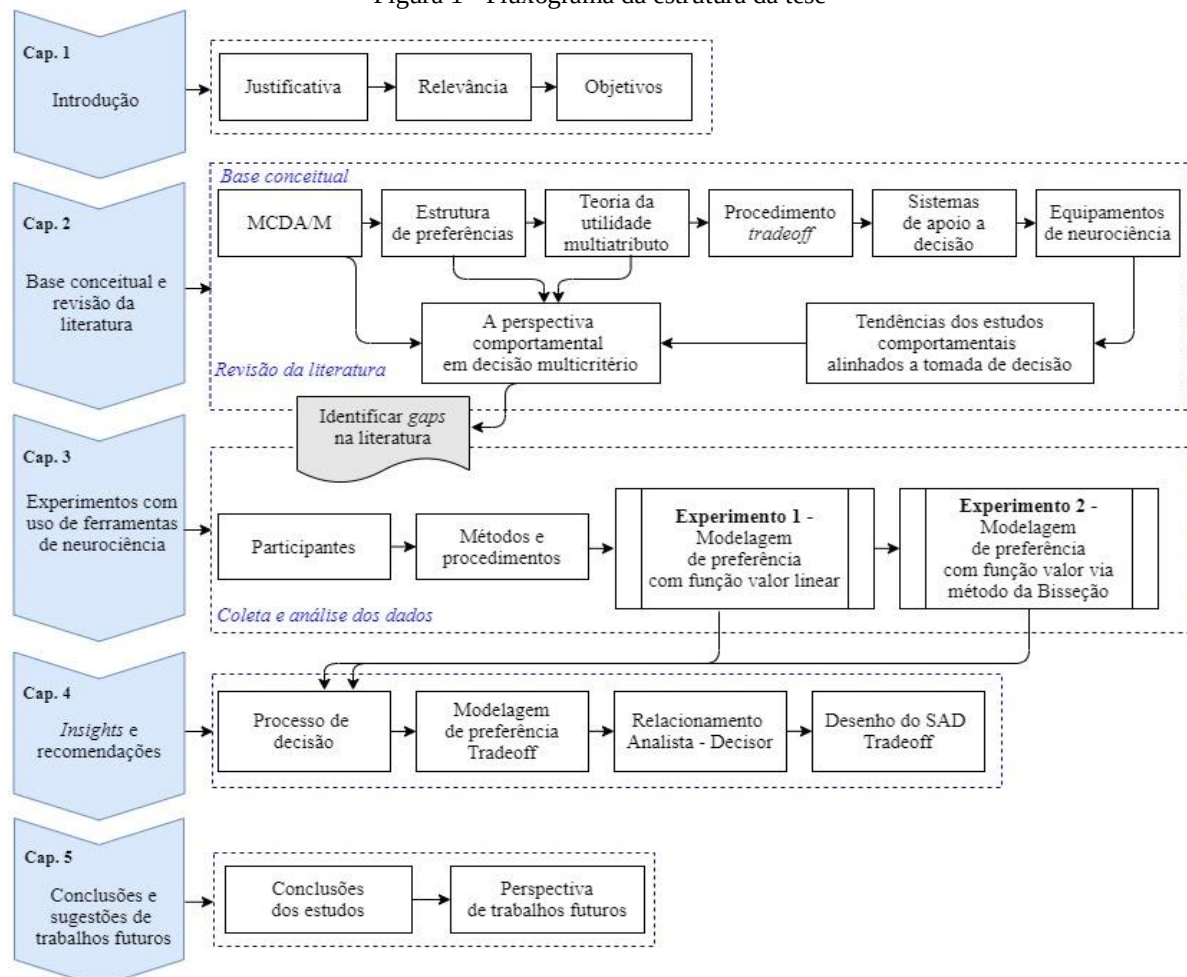
Esta tese está dividida em cinco capítulos, incluindo o presente com a introdução, no qual foi apresentada um panorama dos conteúdos teóricos, além de ser descrito a justificativa e importância do estudo, seus objetivos e uma breve exposição da metodologia adotada. A representação da estrutura interconectada entre capítulos desta tese está exibida na Figura 1.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico responsável por basear esta pesquisa. São abordados conceitos relativos à tomada de decisão; ao procedimento de elicitación de preferências, em especial ao procedimento *tradeoff*; aos sistemas de apoio a decisão, e aos estudos comportamentais. Além desses tópicos, é apresentada uma revisão de literatura contendo relevantes e atuais contribuições sobre a temática.

O Capítulo 3 apresenta os dois experimentos desenvolvidos para a captura dos dados comportamentais do decisor durante a execução da modelagem de preferência via procedimento *tradeoff*. Na primeira atividade experimental, o procedimento *tradeoff* é

simplificado quanto à fase de determinação da função valor dos critérios, sendo admitida para todos os critérios a forma linear. Com os dados, dois estudos foram desenvolvidos, um relacionado à análise do nível cognitivo na perspectiva pupilométrica diante das características dos critérios do problema de decisão; e outro relacionado à análise do nível cognitivo diante de critérios financeiros no problema de decisão. Na segunda atividade experimental, o método da Bissecção é incrementado ao procedimento *tradeoff* para auxiliar na determinação da função valor dos critérios. Dois novos estudos foram conduzidos, um relativo à análise do nível cognitiva dada variações nas características dos critérios do problema de decisão e outro está relacionado à avaliação do nível de atenção e memória de trabalho requerido durante a elicitación de preferência *tradeoff*.

Figura 1 - Fluxograma da estrutura da tese



Fonte: A Autora (2020).

O Capítulo 4 aponta *insights* e recomendações que a presente pesquisa pode propiciar para o aprimoramento dos métodos e as ferramentas de apoio a decisão. É inovador o estudo

da perspectiva comportamental do decisor no contexto da tomada de decisão, especialmente na abordagem multicritério e nos aspectos que tangem a modelagem de preferência.

O Capítulo 5 expõe as considerações finais da pesquisa, integrando as principais contribuições teóricas e práticas obtidas diante dos estudos desenvolvidos. Além disso, são apresentadas algumas limitações da presente pesquisa e sugestões em contextos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta uma fundamentação teórica dos temas referentes à tomada de decisão, elicitación de preferências, e análise comportamental do decisor por meio dos equipamentos de neurociência. Uma revisão da literatura também é apresentada como aporte dos atuais e relevantes estudos no contexto da neurociência na perspectiva do processo decisório.

Este capítulo está subdividido em três seções. A primeira seção tem como proposta caracterizar o processo de decisão, em especial a abordagem multicritério, detalhando os elementos de um problema de decisão e as estruturas de preferência. Em continuidade são apresentados os conceitos da Teoria da Utilidade Multiatributo e da modelagem das preferências do decisor, com ênfase ao procedimento *tradeoff* proposto por Kenney e Raiffa (1976). Brevemente, são também discutidos aspectos quanto aos sistemas de informação, em especial os SAD.

A segunda seção volta-se aos estudos dos aspectos subjacentes ao indivíduo, neste caso, ao decisor. Assim, apresentam-se especialmente os fatores cognitivos relacionados ao processo de decisão, sendo destaque aspectos como atenção, memória de trabalho e engajamento. Os equipamentos de neurociência utilizados nesse contexto são apresentados, havendo uma completa descrição das características e métricas de análise das duas ferramentas empregadas nesta pesquisa (*eye-tracker* e EEG).

A terceira seção aborda uma síntese da revisão da literatura no que tange as tendências dos estudos comportamentais na perspectiva da tomada de decisão. Assim, ressaltam-se os principais e atuais achados desta área e, incita a investigação das lacunas existentes na literatura e como eles serão preenchidos diante da presente pesquisa.

2.1 MÉTODOS DE APOIO A DECISÃO MULTICRITÉRIO

Um problema de decisão multicritério é caracterizado como uma situação que requer pelo menos duas alternativas e um conjunto de objetivos, na maioria dos casos conflitantes entre si (ROY, 1996). Variáveis de mensuração são associadas aos objetivos, permitindo estabelecer as *performances* para cada alternativa. Almeida (2013) resgata a conceituação que tais objetivos podem ser denominados de atributos, critérios ou dimensões. Portanto, a construção de uma matriz de consequência, permite relacionar e analisar cada alternativa por critério existente no problema de decisão. A Tabela 1 ilustra um modelo de matriz de consequências com p alternativas (a) e q critérios (c).

Tabela 1 - Representação de uma matriz de consequência

Alternativas	Critérios			
	c_1	c_2	...	c_q
a_1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1q}
a_2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2q}
a_3	y_{31}	y_{32}	...	y_{3q}
...	...	...	...	...
a_p	y_{p1}	y_{p2}	...	y_{pq}

Fonte: Adaptado de Almeida (2013).

Os métodos multicritério são abordagens que suportam a estruturação, a síntese de informações e a determinação de uma solução satisfatória, de modo a envolver apenas um decisor ou vários decisores (ZELENY, 1986). O decisor detém um papel central, pois ele é o responsável pela decisão e assume as suas consequências (ROY, 1996). Outros atores também podem estar presentes em um processo de tomada de decisão, dentre eles os *stakeholders*, que exercem pressão ao decisor; a terceira parte, que particularmente não participam da decisão, mas são afetados por suas consequências; e o analista, que fornece suporte metodológico ao decisor (ROY, 1996).

Um problema de decisão multicritério deve ter foco em obter uma solução satisfatória, dentre um conjunto de alternativas, diante da satisfação de múltiplos objetivos potencialmente conflitantes. Por sua vez, a busca dessa solução apresenta-se alinhada à natureza da problemática, que segundo Vincke (1992) pode ser:

- Problemática de escolha ($P.\alpha$) estabelece um subconjunto contendo as melhores alternativas do seu conjunto;
- Problemática de classificação ($P.\beta$) segmenta o conjunto de alternativas baseando-se em determinadas características/perfis;
- Problemática de ordenação ($P.\gamma$) ordena de modo decrescente (da melhor para a pior) o conjunto de alternativas.

Belton e Stewart (2002) pontuam também a problemática de portfólio que é responsável por determinar um subconjunto de alternativas, avaliando suas características individuais e sua interação com as demais alternativas; e a problemática de design, responsável pela criação de novas alternativas baseando-se nos objetivos do modelo de decisão.

A análise suportada pelos métodos de apoio a decisão multicritério requerem dentre os elementos básicos, a modelagem da estrutura das preferências do decisor. Os fundamentos para este tipo de modelagem estão apresentados no tópico a seguir.

2.1.1 Estrutura de preferências

A modelagem das preferências de um decisor constitui-se pelas de relações binárias, permitindo comparações entre as alternativas (VINCKE, 1992). Confrontando duas alternativas, a e b , pode-se indicar preferência ou indiferença entre elas. Roy (1996) define o Sistema Básico de Relações de Preferências (SBRP), que se constitui das relações:

- Indiferença (I): aIb , corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a similaridade entre as duas alternativas;
- Preferência Estrita (P): aPb , corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem uma preferência significativa em favor de uma das alternativas;
- Preferência Fraca (Q): aQb , corresponde à existência de razões claras e objetivas que invalidem a preferência estrita por uma das alternativas ou uma indiferença entre essas duas alternativas. Consequentemente, não é possível diferenciar nenhuma das duas situações precedentes;
- Incomparabilidade (R): aRb , corresponde à existência de razões claras e objetivas que justifiquem a opção por qualquer uma das três relações precedentes.

Nas relações de preferências, para cada par de alternativas, ao menos uma alternativa deve atender ao princípio da exaustividade; e, para cada par de alternativas, não pode haver justaposição com outra relação, atendendo ao princípio da exclusividade (de ALMEIDA, 2013). Diante desses expostos, pode-se melhor compreender os fundamentos envolvidos nos métodos multicritério.

2.1.2 Classificação dos métodos MCDM/A

Os métodos MCDM/A podem ser rotulados em distintas categorias. Almeida (2013) aponta que tais métodos podem apresentar-se nas formas compensatórias, na qual prevalece a ideia de um desempenho ineficaz em um critério ser compensado por um desempenho ótimo em outro critério; e não compensatórias, na qual condiz a ideia que não existe compensação entre os critérios. Em termos de classificação dos métodos MCDM/A, Roy (1996) estabelece uma segmentação em três categorias, sendo:

- Métodos de critério único de síntese: são baseados em agregação compensatória e não aceitam incomparabilidade. O Modelo Aditivo Determinístico e a Teoria da Utilidade proposto por Keeney e Raiffa (1976) são exemplos dessa categoria.
- Métodos de sobreclassificação (*outranking*): são baseados em agregação não compensatória e aceitam incomparabilidade, ou seja, não ocorre compensação entre os critérios. As famílias ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) e PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) constituem exemplos dessa categoria.
- Métodos interativos: são baseados em problemas discretos ou contínuos. A PMLO (Programação Linear Multiobjetivo) constitui um exemplo.

Os métodos de decisão multicritério vêm sendo empregados nas mais diversas áreas e perspectivas da literatura, sendo algumas perspectivas: alocação de recursos (MARTINS; de ALMEIDA; MORAIS, 2019), planejamento urbano (SILVA *et al.*, 2017), sistemas de abastecimento de água (PEREIRA; MORAIS, 2020; PEREIRA; MORAIS; FIGUEIRA, 2020; AGARWAL; GARG, 2016), sustentabilidade e recursos hídricos (YI *et al.*, 2017; PEREIRA; SILVA FILHO; MORAIS, 2019) e tecnologia da informação (CARVALHO POLETO; SEIXAS, 2017).

A definição do método a ser empregado para a busca de solução de uma determinada situação é compreendida a partir de um conjunto de requisitos, dentre eles: a natureza das informações disponíveis, as preferências do(s) decisor(es), e o tipo de solução desejada (de ALMEIDA, 2013). Nesta pesquisa, a ênfase dá-se ao método compensatório da Teoria da Utilidade Multiatributo, conforme apresentado a seguir.

2.1.3 Teoria da Utilidade Multiatributo

A Teoria da Utilidade Multiatributo (do inglês *Multi-attribute Utility Theory*, MAUT) detêm em sua estrutura a Teoria da Utilidade (TU). Constitui um dos procedimentos MCDM/A que buscam conferir suporte ao decisor na priorização de alternativas diante de um conjunto de múltiplos critérios.

Considerando um problema de decisão multiatributo ou multicritério (intercambiando as palavras) analisado com MAUT, o conjunto dos critérios X_p , sendo $p = \{1, 2, 3, \dots, z\}$, associa a cada opção de alternativa t ($t \in T$) a um ponto $x = \{x_1, x_2, \dots, x_z\}$ em um espaço de consequências multidimensionais (de ALMEIDA, 2013; KEENEY; RAIFFA, 1976). O axioma fundamental representa que o decisor procura inconscientemente maximizar alguma

função $U = U(p_1, p_2, \dots, p_n)$ reunindo função de diferentes critérios. Assim, ao decisor cabe a escolha de alternativas a que satisfaça o vetor $\{X_1(t), X_2(t), \dots, x_z(t)\}$, mesmo diante da incerteza, constituindo assim o índice de desejabilidade da consequência em virtude da escolha de uma dada alternativa. Em MAUT, é utilizada uma estrutura de preferência estrita (P) e indiferença (I), de tal forma que:

$$\begin{aligned} t_i P t_j &\Leftrightarrow \{U t_i > U t_j\} \\ t_i I t_j &\Leftrightarrow \{U t_i = U t_j\} \end{aligned} \quad (1)$$

A função da utilidade aditiva é geralmente empregada para representar a função utilidade multiatributo (Equação 2), sendo $u_i(t)$ a função utilidade unidimensional da alternativa t para o critério i , dado a sua constante de escala k_i ($k_i \geq 0$).

$$u(t) = \sum_{i=1}^z k_i u_i(a) \quad (2)$$

No contexto de MAUT, dado os axiomas da TU, além dos aspectos de continuidade e monotonicidade para as funções utilidades marginais, exige também a outros parâmetros básicos entre os atributos, sendo, a independência preferencial, independência em utilidade e independência aditiva (para maiores informações ver KEENEY; RAIFFA, 1976).

Considerando essa abordagem compensatória, para a eliciação das preferências do decisor, o procedimento *tradeoff* desenvolvido por Keeney e Raiffa (1976) é apresentado como uma usual abordagem da literatura. Os seus princípios metodológicos estão apresentados no tópico a seguir.

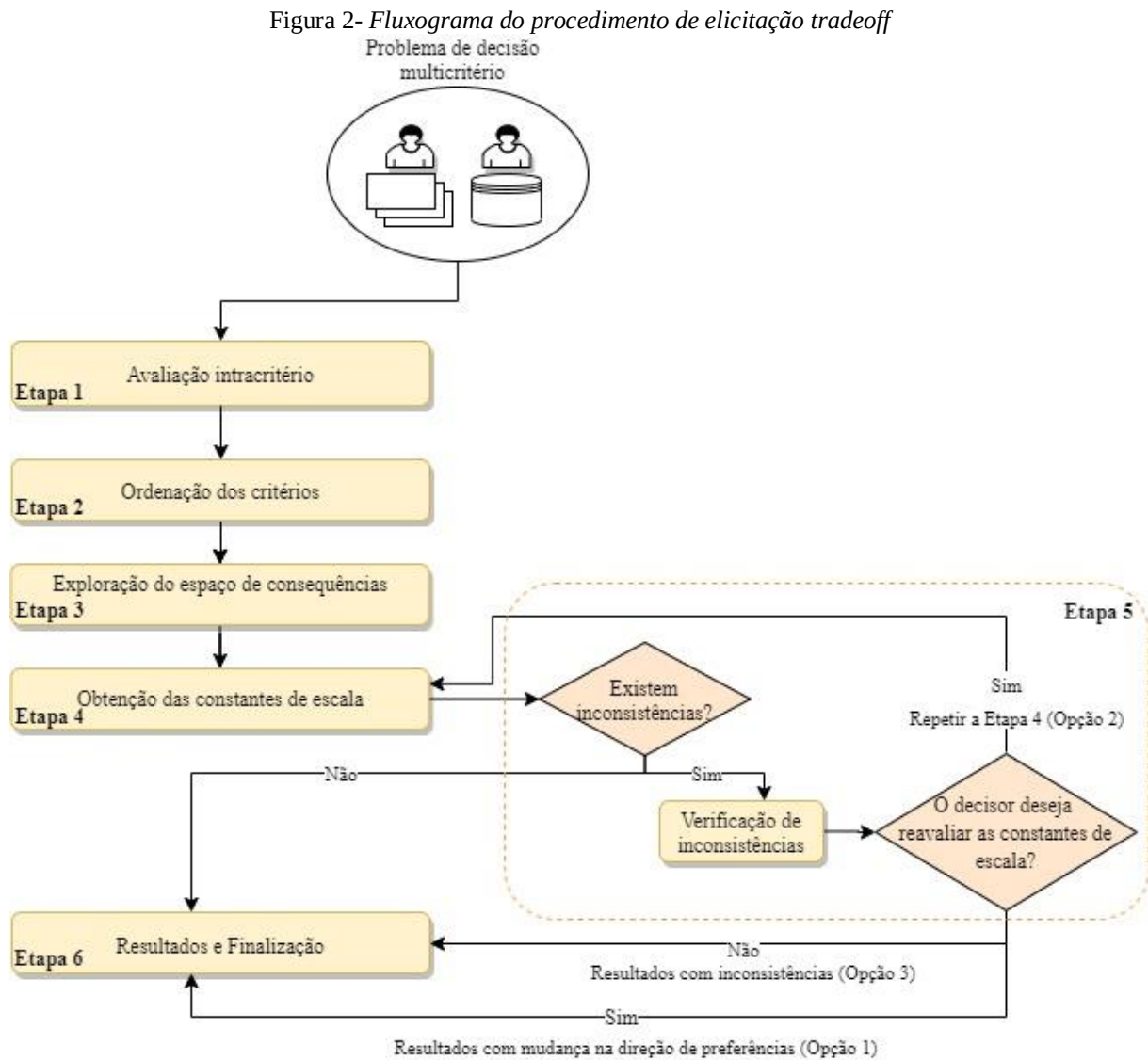
2.1.4 Procedimento aditivo *tradeoff* de eliciação de preferência

Considerando a classificação da abordagem por critério único de síntese, o modelo aditivo determinístico enquadra-se à Teoria do Valor Multi-Atributo (do inglês *Multi-Attribute Value Theory*, MAVT), fato que o diferencia do MAUT em razão de obter as consequências para cada alternativa mediante a condição de certeza. Nessa perspectiva, a Equação (3) pode ser considerada para a função valor global, considerando o critério p , sendo k_p a sua constante de escala. Na solução, a alternativa que detiver o maior valor global $v(x)$ deve ser escolhida.

$$v(x_i) = \sum_{p=1}^n k_p v_p(x_i); \forall i \in [1, m] \quad (3)$$

Onde: $\sum_{j=1}^n k_j = 1$

O procedimento *tradeoff* de eliciação das preferências desenvolvido por Keeney e Raiffa (1976;1978), foi estruturado por Almeida (2013) em seis etapas, conforme a Figura 2. Cada etapa apresenta-se descrita em detalhes a seguir.



Fonte: A Autora (2020).

2.1.4.1 Etapa 1 – Avaliação intracritério

Esta etapa objetiva determinar as funções valor $v'_a(x_i)$ para cada critério. A função valor deve estar normalizada em um intervalo de 0 a 1. Dessa forma, considerando o critério a e a alternativa i , tem-se que $v_a(p_i) = 1$ como melhor consequência, e $v_a(m_i) = 0$ como a

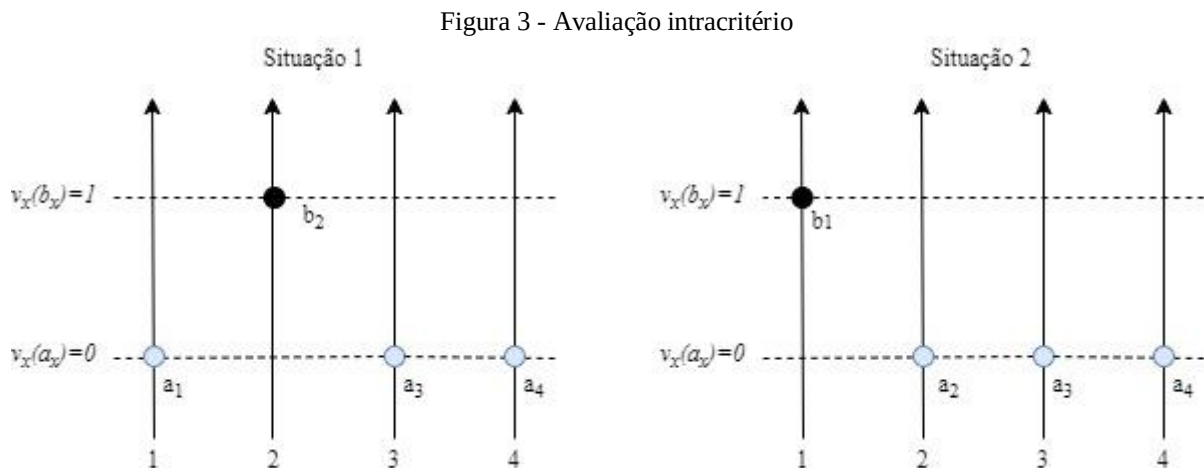
pior consequência.

Diferentes tipos de funções podem integrar essa caracterização, tais como: funções lineares, logarítmicas, exponenciais e *S-shape*, proporcionando maior adaptação ao comportamento das preferências do decisor. Essas funções desempenham um importante papel na determinação das relações para as constantes de escala e sua posterior verificação em termos de inconsistências.

De acordo com o Keeney e Raiffa (1976), a determinação do tipo de função não recebe suporte nem do modelo de decisão, nem do SAD na qual está sendo operacionalizado. Consequentemente, dificuldades podem ser impostas a essa atividade, bem como uma maior propensão a indicação errônea de um tipo de função. Diante desse contexto, em um segundo momento da atividade experimental desta pesquisa adota-se o método da bisseção (ver tópico 2.2.5) como abordagem para auxiliar na determinação dessas funções intracritério.

2.1.4.2 Etapa 2 – Ordenação dos critérios

O procedimento de elicitación requer a determinação de uma ordenação dos critérios por viés decrescente de preferência. Assim, considerando a ordem ($k_1 > k_2 > k_3 > \dots > k_m$), tem-se k_1 como o critério mais importante e k_m como o critério menos importante (KEENEY; RAIFFA, 1976). Para isso, os critérios do problema de decisão são mostrados juntamente com o seu pior e melhor valor de *performance* e faz-se o seguinte questionamento do decisor: “Supondo que uma alternativa possui o pior desempenho para análise em todos os critérios, mas é possível melhorar o desempenho dessa alternativa em apenas um dos critérios, então qual critério seria escolhido?”. Considere a Figura 3, caso o decisor prefira a situação 1 à situação 2, pode-se dizer que $k_2 > k_1$.



Fonte: Adaptado de Almeida (2013)

De acordo com a Figura 3, considera-se que a situação 1 é melhor que a situação 2, e não que o critério 2 é melhor que o critério 1 (de ALMEIDA, 2013). O questionamento é continuamente repetido, anulando os atributos já escolhidos, até que seja determinado uma ordenação completa dos critérios listados no problema de decisão.

2.1.4.3 Etapa 3 – Exploração do espaço consequência

Esta etapa possibilita ao decisor explorar o espaço de decisão e a determinar com maior precisão a faixa de sensibilidade para as suas preferências. Isto é possível, pois situações hipotéticas são levantadas de modo que o decisor escolha a que mais lhe for atrativa. Consequentemente, inequações são estruturadas, que por sua vez, serão essenciais para os testes de inconsistências na Etapa 5.

Para ilustrar, considera-se a Consequência 1 representada pelo desempenho x_1 , no critério a , e a Consequência 2 representada pelos desempenhos x_2 e x_3 , nos critérios b e c , respectivamente. Uma inequação é obtida quando o decisor declara sua preferência ou indiferença (KEENEY; RAIFFA, 1976). No exemplo, se o decisor preferir a Consequência 1, obtém-se uma inequação semelhante a Equação (4).

$$k_a v_a(x_{a1}) > k_b v_b(x_{b2}) + k_c v_c(x_{c3}) \quad (4)$$

O processo continua até que se tenha identificado uma inequação para cada um dos critérios presentes no problema de decisão, diante de suas respectivas avaliações. Considerando a complexidade do procedimento *tradeoff* de elicitacão de preferências, Almeida (2013) propôs que na medida em que cresce a quantidade de critérios em um problema de decisão, conjuntamente eleva-se a probabilidade do decisor ser inconsistente.

2.1.4.4 Etapa 4 – Obtenção das constantes de escala

Com uma construção semelhante à etapa anterior, no sentido que o decisor tem por atribuição a escolha de uma das consequências expostas, diferencia-se pelo fato que nesta Etapa 4 são conferidas comparações par a par entre os critérios. Assim, é possível definir o ponto de indiferença para cada critério e, consequentemente a determinação das suas constantes de escala (k_p) (KEENEY; RAIFFA, 1976).

O processo inicia com o primeiro par de critérios da ordenação na Etapa 2. A Consequência 1 apresentará o melhor desempenho no primeiro critério ordenado, enquanto a Consequência 2 representa a melhor performance para o segundo critério ordenado, ambas sofrem influência do tipo de função valor determinada previamente. O valor estabelecido na

Consequência 2 permanece fixo durante todo o processo comparativo até o momento em que o decisor declarar que não possui preferência para as consequências apresentadas (ou seja, é indiferente), obtendo assim o ponto de indiferença (KEENEY e RAIFFA, 1976). Para ilustrar, se o decisor estiver avaliando uma comparação entre a Consequência 1 e a Consequência 2 e declarar indiferença, as informações fornecidas serão: $v_1(x'_1) = v_2(x_2)$ or $v_1(x'_1) \sim v_2(x_2)$. Ou seja, representa que o decisor detém igual satisfação por qualquer das consequências apresentadas.

Seguindo, os critérios ordenados nas posições 2 e 3 constituirão a nova comparação pareada. O processo continua até que todos os critérios do problema de decisão sejam avaliados, e que se tenha determinado o ponto de indiferença.

2.1.4.5 Etapa 5 – Avaliação de inconsistências

Consiste no teste de consistência para a elicitación, de modo que verifica se as inequações obtidas são consistentes diante da função valor $v'_p(x_i)$ para os valores das constantes de escala (k_p). Segundo Keeney e Raiffa (1976) as inconsistências ocorrem diante de uma variação das preferências do decisor ao decorrer do procedimento de elicitación. Em caso de haver inconsistências, o decisor é notificado do(s) caso(s) e recebe três opções de análise para solução, sendo:

- Opção 1 – Exibe em gráficos de barras o caso da inconsistência, ou seja, reescreve a condição envolvida na inequação referida com as devidas performances, e confere ao decisor a opção de mudar a relação de preferência entre os critérios. Assim, ilustradamente, caso a inequação em estudo fosse $x_1 > x_2 + x_4$, a simples inversão da ordem de preferência da inequação para $x_1 < x_2 + x_4$ tende em solucionar a inconsistência.
- Opção 2 – Propõe ao decisor refazer a determinação das constantes de escala (Etapa 4) apenas para encontrar novos valores aos critérios que se mostraram inconsistentes. No entanto, para essa opção, após refazer as devidas comparações, a(s) inconsistência(s) podem desaparecer, permanecer ou mesmo surgir novos casos.
- Opção 3 – Sugere que o decisor continue com o processo de elicitación de preferências mesmo com a presença da(s) inconsistência(s). Assim, segue-se para a apresentação dos resultados do procedimento de elicitación.

O decisor deve se sentir livre para escolher a opção que lhe garantir maior conveniência, segurança e que julgar ser o melhor caminho para obtenção de uma solução ao problema de decisão. É importante salientar que não há escolha certa ou errada, mas sim a determinação de uma opção que melhor se adeque as expectativas do decisor no referido momento da decisão. Esta assertiva é aplicável a todos os momentos do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências. Desta maneira, o decisor deve expressar suas preferências de forma consciente e sem a preocupação se estar escolhendo as alternativas que seriam tidas como corretas.

2.1.4.6 Etapa 6 – Resultados e finalização

É responsável por apresentar ao decisor os resultados do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências, permitindo as análises para a solução obtida. Assim, é disposta ao decisor uma tabela com as alternativas classificadas (da mais preferível para a menos preferível) com base nos seus respectivos valores globais, e para cada critério exibem-se as constantes de escala normalizadas no valor de 0 a 1.

Diante da descrição do procedimento *tradeoff* é possível perceber que o número de alternativas contidas no problema de decisão não proporciona impacto sobre os resultados. Ou seja, não dificulta nem facilita o procedimento de elicitación de preferências. Isto, pois, o decisor expressa as suas preferências apenas sobre as informações do conjunto de critérios. Essas preferências, por sua vez, permitem calcular o valor global de performance para cada alternativa, conferindo o resultado final.

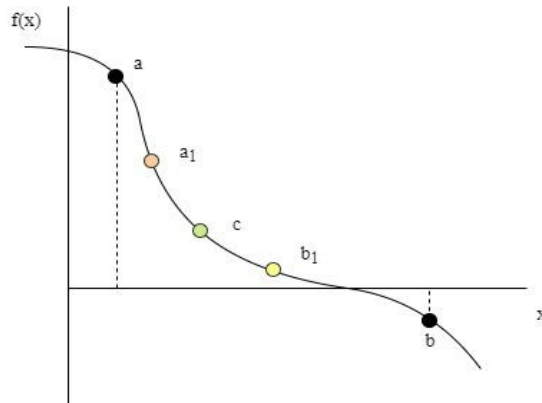
2.1.5 Método da bisseção

Conforme salientado anteriormente, nesta pesquisa, o método da Bisseção foi utilizado na segunda atividade experimental como proposição de mecanismo para facilitar a identificação da função valor dos critérios. Houve uma incorporação deste método ao procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências, de modo que passou a equivaler ao desenvolvimento da Etapa 1.

Explanando o método da Bisseção, seja $x = f(x)$ uma função contínua em um intervalo $[a,b]$. O algoritmo deste método consiste em dividir o intervalo $[a,b]$ baseando-se em perguntas, de modo iterativo, visando encontrar um valor representativo ao ponto médio de acordo com as preferências do decisor (VON WINTERFELDT; EDWARDS, 1986; WATSON; BUEDE, 1987). É um método numérico que particiona determinado intervalo em subintervalos até que o critério de parada seja satisfeito. O

Gráfico 1 representa um modelo de uma função valor resultante desse processo da aplicação do método da bisseção.

Gráfico 1 - Representação da função valor pelo método da bisseção



Fonte: A Autora (2020).

Para o

Gráfico 1, os dois subintervalos iniciais são $[a, c]$ e $[c, b]$. Percebe-se que o método da Bisseção não envolve cálculos laboriosos, e tem seu algoritmo descrito na Equação 5.

$$x_p = \frac{a + b}{2} \quad (5)$$

para $p = 1, 2, 3 \dots$

Para ilustrar a adaptação do método da Bisseção ao procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências, considere avaliar o critério preço, que possui natureza quantitativa decrescente, em um problema de decisão que tenha cinco alternativas (sendo as *performances*, $a_1 = 5.139,00$; $a_2 = 2.849,00$; $a_3 = 1.689,00$; $a_4 = 950,00$; $a_5 = 2.749,00$). A primeira questão de escolha a ser feita ao decisor será: "Para você, a redução no preço de R\$ 5.139,00 para R\$ 3.044,50 é mais importante do que a redução de R\$ 3.044,50 para R\$ 950,00?". Três opções de respostas são possíveis, sendo: () Sim, () Não ou () Indiferente. Caso o decisor opte por "sim" ou "não", um novo valor de ponto médio é calculado e, consequentemente, realizada uma nova comparação. Considerando, neste caso, a resposta "sim", a segunda questão de escolha será: "Para você, a redução do preço de R\$ 5.139,00 para R\$ 4.091,75 é mais importante do que a redução de R\$ 4.091,75 para R\$ 950,00?". Existe uma constrição do intervalo em oposição à opção de escolha do decisor. O processo continua até o momento em

que o decisor se declara indiferente, sendo estabelecido o ponto médio referente ao intervalo que está sendo estudado.

Nesta pesquisa, considerando a necessidade de ter uma quantidade de pontos de indiferença satisfatória e que ao mesmo tempo não tornasse o processo demasiadamente longo, por testes, foi definido que a identificação de três pontos médios de indiferença seria suficiente. Assim, os valores referentes aos pontos médios de 25%, 50% e 75% tiveram que ser determinados.

O procedimento *tradeoff* possui um robusto axioma, principalmente com a inserção do método da Bissecção, assim como a maioria dos métodos de apoio a decisão. Dessa maneira, em geral, mecanismos de sistemas de informação, especialmente os SAD são desenvolvidos para operacionalizar tais procedimentos, tornando a interação (decisor – procedimento) facilitada e de certo modo estruturada.

2.2 SISTEMA DE APOIO A DECISÃO (SAD)

Um Sistema de Informação (SI) corresponde a um conjunto inter-relacionado de componentes que coletam, manipulam, armazenam e disseminam dados e informações, provendo mecanismos de *feedback*, a fim de alcançar um objetivo (STAIR, 1998). Como a perspectiva desta pesquisa está na tomada de decisão, em especial nas decisões com um elevado nível de eficácia, de modo a permitir seus usuários a “fazer a coisa certa”, tem-se destaque o SAD (STAIR; REYNOLDS, 2009). Pommeranz *et al.* (2012) caracterizam o SAD como um sistema interativo para os usuários no processo de tomada de decisão, suscitando as preferências e proporcionando ferramentas analíticas para examinar as decisões.

De acordo com Sprague e Watson (1989), o arcabouço dos primeiros SAD remota da década de 60 e início da década de 70, e em geral lidam com problemas menos estruturados. Um SAD busca permitir uma simbiose entre a máquina (computador) e a mente humana, capacitando o usuário a manter um controle direto sobre as atividades desenvolvidas, bem como sobre seus resultados (YOUNG, 1984). Adicionalmente, Sprague e Watson (1989) pontuam que um SAD busca combinar o uso de modelos e técnicas no acesso às informações, sendo flexíveis e adaptáveis as mudanças.

Nesta pesquisa, o SAD foi necessário para operacionalizar os fundamentos do procedimento *tradeoff* de eliciação de preferências. Na primeira atividade experimental, houve uma adaptação de um SAD existente para a interface dos experimentos de neurociência. No entanto, no segundo experimento, um novo SAD foi construído tendo em vista as necessidades particulares dos estudos com os equipamentos e *softwares* de

neurociência. Ambos os SAD utilizados nesta pesquisa, em acordo com Bidgoli (1989), são baseados em modelos que dispõem de fórmulas e processos anteriormente definidos para dar suporte a tomada de decisão.

Os *designs* desses SAD, que por sua vez servem como representações dos estímulos para a atividade experimental, apresentam-se dispostos no Capítulo 3. Mas, noções de neurociência e suas aplicações na perspectiva da tomada de decisão começam a ser exploradas no tópico a seguir.

2.3 A TOMADA DE DECISÃO E OS ESTUDOS DA NEUROCIÊNCIA

Os estudos de neurociência têm origem há mais de um século, mas ganharam impulso diante do surgimento do computador. O cérebro e os computadores foram correlacionados como dois mecanismos capazes de processar informações. Para Bruner (1973), o cérebro humano é um modelo apropriado de processar as informações e as devolve para o meio com a de “criação de significados, linguagens e mesmo resolução de problemas”.

A neurociência, basicamente, é caracterizada como a ciência que detém como foco de estudo o sistema nervoso, composto pelo cérebro, medula espinhal e nervos periféricos (GLIMCHER; FEHR, 2014). O cérebro humano é um órgão complexo, diferente dos outros seres animais, o ser humano nasce com o cérebro em desenvolvimento. Esse fato, que instantaneamente poderia ser pontuado como uma desvantagem, especialmente nos primeiros anos de vida, é o aspecto que permite ao ser humano distinguir-se em capacidade cognitiva dos demais animais, tornam-se flexível e adaptável (EAGLEMAN, 2015). Assim, o cérebro humano modifica-se ao longo da vida, criando, fortalecendo ou mesmo eliminando sinapses, em acordo com o processo a qual está submetido.

A integração da neurociência ao campo da ciência cognitiva constitui o que se denomina de neurociência cognitiva. Por sua vez, a aplicação do contexto da neurociência nos estudos sobre decisão recai aos anos de 1930, nos primórdios da revolução econômica neoclássica, o que convencionalmente foi cunhado de neuroeconomia (do inglês *neuroeconomics*) e posteriormente na década de 1990 aos estudos propriamente da Neurociência Cognitiva. Uma vertente de estudo da neurociência cognitiva corresponde a análise dos consumidores no momento da decisão para a compra e escolha de produtos. Essa abordagem apresenta-se na literatura intitulada como *consumer neuroscience*, e tem como um dos campos o *neuromarketing*. Outra vertente corresponde a investigação dos indivíduos perante os Sistemas de Informação, cunhando o termo *neuroIS*. Quando o foco está na gestão, apoiando-se nos aspectos das relações humanas, aspectos de mudanças e criatividade, tem-se

a *management neuroscience*. E o próprio termo *decision neuroscience* comporta todas essas áreas, englobando os demais estudos que envolvem a decisão em sua variada natureza. Dessa maneira, é possível perceber o quão amplo corresponde a este campo de estudo.

Portanto, a neurociência cognitiva compreende um campo de estudo multidisciplinar, envolvendo, a psicologia, a economia e a neurociência para estudar os aspectos relacionados os processos mentais e as suas manifestações comportamentais (GLIMCHER; FEHR, 2014; LIEBERMAN, 2007). O termo cognição está intrinsecamente relacionado a atenção do indivíduo. Por sua vez, a atenção pode ser caracterizada como uma função complexa que ajusta as informações do ambiente com as necessidades de um organismo (BEN AZOUZ *et al.*, 2009). Isto, pois a todo o momento os seres humanos são bombardeados com um vasto número de informações, e precisam focalizar em um único aspecto ou um número reduzido deles. Dessa maneira, a atenção apresenta um funcionamento similar a um filtro, elegendo alguns aspectos para processamento adicional.

A própria atenção está intimamente relacionada a outros comportamentos/mecanismos do indivíduo, tais como, o engajamento, a memória, o raciocínio, nível de estresse, emoções, aprendizado, entre outros. Dentre esses elementos citados, o nível de estresse tende a causar maior dificuldades de compreensão quanto ao seu significado devido a sua caracterização por várias disciplinas. Selye (1976) caracterizou o estresse como uma “percepção de ameaça, com resultante desconforto de ansiedade, tensão emocional e dificuldade de adaptação”. O estresse pode ser percebido diante de uma situação adversa que esteja requerendo uma demasiada excitabilidade. É sabido que o estresse repercute ao indivíduo reações físicas, psicológicas e hormonais.

Medidas psicofisiológicas tais como, movimentos oculares, ativação de regiões cerebrais, frequência cardíaca, respostas de condutância da pele podem despontar de preciosas informações sobre um sujeito no decorrer de um processo de decisão (SHOJAEIZADEH *et al.*, 2019). Atualmente, estudos sobre escolhas intertemporais (HAKIMI; HARE 2015), marketing (KHUSHABA *et al.*, 2013), risco e incerteza na tomada de decisões (POUDEL *et al.*, 2017) são exemplos de estudos que utilizaram as vantagens oferecidas pelos equipamentos de neurociência para um melhor entendimento dos processos subjacentes a tomada de decisão.

Dessa forma é importante destacar alguns dos benefícios plausíveis nos estudos diante da utilização dos equipamentos de neurociência, sendo possível citar: os dados fisiológicos e cerebrais não podem ser manipulados conscientemente pelos participantes; eles não são

suscetíveis a preconceitos; eles podem capturar processos inconscientes e podem ser obtidos em tempo real de modo contínuo (DIMOKA *et al.*, 2012).

Apesar das vantagens, alguns desafios estão associados a esses equipamentos e também precisam ser corretamente considerados. Dentre os fatores destacam-se os altos custos dos equipamentos de neurociência, condições ambientais que alguns equipamentos requerem, a alta carga de esforço requerida para coletar e analisar o grande volume de dados, e a dificuldades na interpretação e discussão dos dados. Além desses fatores também deve ser pontuado a dificuldade para se elaborar um design para o experimento, pois geralmente, as configurações artificiais criadas podem influenciar em algum grau o comportamento dos sujeitos e, conseqüentemente, enviesar os dados obtidos (DIMOKA *et al.* 2012).

A adição de dados comportamentais à teoria da decisão nem sempre é benéfica e deve-se tomar cautela. Hess, Daly e Batley (2018) discutiram os padrões comportamentais no contexto de modelagem de utilidade aleatória e demonstraram a relação disfuncional entre a maximização da utilidade e a consistência. Assim, a presente pesquisa tomou as devidas precauções desde a modelagem dos experimentos, passando pela coleta de dados até a determinação das métricas de análise dos dados. A seguir são apresentados os principais equipamentos de neurociência para a perspectiva cognitiva, dando ênfase aos que foram utilizados nesta pesquisa (EEG e *eye-tracker*). A utilização destes equipamentos dentre os demais existentes no mercado configura-se por razões como: fornecimento adequado dos dados necessários para as vertentes de análises pretendidas, razoabilidade de custo de aquisição e manutenção, e nível intermediário de dificuldade para o manuseio do equipamento e uso dos seus respectivos conjuntos de dados.

2.3.1 Equipamentos de neurociência e suas métricas de análise

Atualmente, é larga a gama de equipamentos de neurociência disponíveis no mercado. Esses equipamentos variam em termos de diversas especificidades, dentre as quais, a capacidade de captura, perspectiva de análises, custos com aquisição e manutenção, necessidades de conhecimentos específicos para a manipulação, e mesmo a infraestrutura imprescindível para acondicionar as atividades experimentais. Assim, cada equipamento apresenta pontos positivos e negativos, que devem ser considerados, particularmente, para cada tipo de estudo.

Na perspectiva de equipamentos para mensuração das atividades elétricas do cérebro de natureza não invasiva, o EEG é uma tecnologia de baixo custo e que permite mobilidade, podendo inclusive ser controlado por *smartphones*, e apresenta boa capacidade de resolução

temporal do cérebro. A espectroscopia de infravermelho próximo (do inglês *Near-infrared Spectroscopy*, NIRS) tem como mecanismo de análise da atividade cerebral as diferenças quanto à ressonância para as hemoglobinas desoxigenadas e oxigenadas. Para a medição são emitidas na superfície do escalpo radiação do espectro infravermelho. O NIRS também é uma tecnologia portátil e de custo relativamente baixo, robusto e menos sensível a artefatos. No entanto, o NIRS exige uma complicada análise dos dados espectrais e requer uma dependência a um método de referência (REUTER; MONTAG, 2016).

Diferentemente, a imagem por ressonância magnética funcional (do inglês *Functional Magnetic Resonance Imaging*, fMRI) é uma tecnologia mais sensível que o EEG, e dispõe de uma excelente acuidade de resolução espacial do cérebro. O seu monitoramento baseia-se nas variações da concentração de hemoglobina que estão associadas às atividades neurais. No entanto, não permite mobilidade, além de requerer altos investimentos e uma robusta infraestrutura para acondicionamento, seguindo rigorosos protocolos para manuseio (REUTER; MONTAG, 2016).

Por sua vez, as variações pupilométricas podem ser capturadas por tecnologia *eye-tracker*, que ao incidir radiação infravermelha na região da córnea permite monitorar as respostas oculares. Essa tecnologia admite a análise de métricas que envolvem desde as variações por tamanho da pupila até o monitoramento dos movimentos oculares. Atualmente, trata-se de um método não invasivo, com alta acuracidade e precisão. A tecnologia de rastreamento ocular permite entender melhor o processamento das informações e os efeitos do formato das informações na tomada de decisões (POIRIER *et al.*, 2019).

Mecanismos que admitem o monitoramento das frequências cardíacas (do inglês *heart rate*) – reflete as oscilações no intervalo (ms) entre batimentos cardíacos consecutivos, e das respostas galvânica da pele (do inglês *skin conductance*) – mede a impedância da pele em termos da quantidade liberada de secreção (suor), também são empregados no campo de estudo da Neurociência Cognitiva (BECHARA *et al.*, 1996; DAMASIO, 1994). Em geral, esses equipamentos, por consistirem em tecnologias não invasivas, permitem o fácil manuseio, além de serem acessíveis financeiramente. No entanto, essas tecnologias apresentam a dificuldade para integração com outros equipamentos de neurociência (tal como, EEG e *eye-tracker*). Por exemplo, as respostas de condutância da pele podem levar alguns segundos para surgir e/ou maior tempo para se dirimir.

A Tabela 2 apresenta sinteticamente esses equipamentos usuais do campo da Neurociência na perspectiva da tomada de decisão, incluindo algumas das métricas de análise na qual estão condicionados, além de reportar estudos presentes na literatura. Dessa forma,

em sua coluna “métrica” descreve brevemente o aspecto a ser mensurado, e na coluna “análise” é apresentado o mecanismo de análise do parâmetro. E por fim, na coluna autores citam-se alguns dos trabalhos mais representativos e relevantes para cada perspectiva.

Nesta pesquisa, conforme mencionado, dois equipamentos foram utilizados, o *eye-tracker* e o EEG. As principais características, configurações dos equipamentos e métricas de análise estão descritas em detalhes nos dois seguintes subtópicos.

2.3.1.1 *Eye-tracker*

O método de rastreamento ocular ou *eye-tracker* consiste na captura de características dos movimentos oculares a partir da apresentação de estímulos visuais, sejam eles imagens, vídeos, objetos ou textos. A captura é realizada nas emissões de feixes de luz ultravioleta à pupila e a córnea do indivíduo. Essas emissões ocorrem em uma zona de frequência que não é danosa à estrutura ocular humana. O rastreamento ocular versa como um equipamento eficaz para analisar como os indivíduos reagem e processam as informações sobre as demandas de tarefas (DJAMASBI, 2014). Uma das razões para essa assertiva, é que o olho (isto é, a visão) consiste em um dos sentidos humanos dominantes (SHOJAEIZADEH *et al.*, 2019).

A pupila varia constantemente de tamanho à medida que a musculatura da íris se contrai e se dilata. Tais ajustes têm consequências diretas pela quantidade de luz que alcança a retina, mas também pela qualidade de nossas percepções do mundo visual – ou seja, como vemos o mundo e, por extensão, como interagimos com ele (EBITZ e MOORE, 2018). O movimento de dilatação e contração da pupila está relacionado aos neurônios do sistema LC (VAN DER WEL; VAN STEENBERGEN, 2018). Estudos como Snyder *et al.* (2012) e Valentino e Van Bockstaele (2008) demonstraram que o LC está envolvido em um amplo número de funções fisiológicas, incluindo memória, flexibilidade comportamental e reatividade ao estresse.

Na literatura, a perspectiva da cognição foi previamente evidenciada por Kahneman (1973) por meio da teoria do esforço mental, que propunha que as respostas pupilares evocadas por tarefas fossem consideradas uma medida fundamental para expressar a carga cognitiva do processo. Dessa forma, a execução de um teste resultaria na dilatação da pupila. No que tange o campo da modelagem de preferências, Pratt (1970) desenvolveu um experimento de seleção estratégica e argumentou que as respostas pupilares permitem que as características individuais sejam melhor avaliadas em um contexto de decisão.

Tabela 2 - Equipamentos de neurociência em estudos relacionado a tomada de decisão

Equipamento	Métrica	Análise	Autor(es)
Eye-tracker	Fixação – comportamento em que os olhos permanecem estacionários em algum aspecto do ambiente considerando proximidade de distância e tempo.	Número de fixações	Danner <i>et al.</i> (2016); Meißner; Musalem; Huber (2016)
		Duração da fixação	Causse <i>et al.</i> (2019); Guo <i>et al.</i> (2019); Frey <i>et al.</i> (2018); Van der Laan <i>et al.</i> (2015); Krajbich, Armel e Rangel (2010)
		Tempo de primeira fixação	Danner <i>et al.</i> (2016); Van der Laan <i>et al.</i> (2015); Reutskaja <i>et al.</i> (2011)
	Sacada – análise do comportamento do rápido movimento ocular entre fixações.	Número de sacadas	Borys e Plechawska-Wójcik (2017)
		Duração da sacada	Djamasbi (2014)
	Piscada ocular – corresponde aos movimentos involuntários de abertura e fechamento das pálpebras.	Número de piscadas	Liu <i>et al.</i> (2019); Van Orden <i>et al.</i> (2001)
		Duração da piscada	Andrzejewska e Stolinska (2016)
	Respostas pupilares – análise das variações no diâmetro da pupila.	Dilatação da pupila	Ebitz e Moore (2018); van der Wel e van Steenbergen (2018); Slanzi, Balazs e Velásquez (2017)
EEG	Análise das frequências – consiste na análise do poder das ondas eletromagnéticas cerebrais.	Banda <i>alpha</i>	Bazanova e Vernon (2014); Zauner <i>et al.</i> (2012)
		Banda <i>beta/theta</i>	Herding <i>et al.</i> (2019); Putman <i>et al.</i> (2010)
fMRI	Análise da assimetria entre eletrodos – consiste na determinação do índice de ativação correlacionando a ativação dos opostos eletrodos.	Assimetria frontal	Fischer, Peres e Fiorani (2018); Ramsøy <i>et al.</i> (2018)
	Análise de <i>potencial evocado</i> – corresponde à análise da ativação cerebral em sincronia com tempo e fase de certo evento.	N200 e P300	Dickson e Wicha (2019); Glazer <i>et al.</i> (2018); Wang <i>et al.</i> (2019)
NIRS	Avaliação da hemodinâmica cortical – avaliação do nível de oxigenação cerebral	Respostas hemodinâmicas	Entrenas <i>et al.</i> (2019)

Fonte: A Autora (2020).

Barlow (1970) investigou o índice de preferência por meio de um experimento fotográfico aos extremos, agradável e desagradável. E, em seu estudo descobriu que a maior dilatação do diâmetro da pupila é resultante dos casos em que os participantes analisaram uma fotografia agradável com conteúdo emocional.

Kret e Sjak-Shie (2019) e Krol e Krol (2017) reforçam que o tamanho da pupila é uma medida que reflete aspectos cognitivos e emocionais, variando de estados de interesse e excitação. Em geral, pupilas grandes se mostram positivas e atraentes. Em contrapartida, as pupilas pequenas permanecem um padrão como desinteresse e remete a distância (HESS; POLT, 1964; KAHNEMAN; BEATTY, 1966).

Em geral, as respostas pupilares fornecem uma grande quantidade de dados (EHLERS; STRAUCH; HUCKAUF, 2018) e são caracterizadas como um índice não invasivo, dispondo de alta precisão e acurácia na captura dos dados (EBITZ; MOORE, 2018). O equipamento funciona de modo dependente a um software, que diante de algoritmos específicos promove a correspondência entre as respostas oculares e o estímulo visual apresentado. Assim, são estes softwares que permitem a coleta dos dados específicos referentes ao movimento oculares, tais como variação no tamanho da pupila, tempo de duração do movimento ocular e localização em tela das respostas oculares.

A tecnologia *eye-tracking* também apresenta desvantagens, dentre as quais podem citar, a dificuldade de montar o design do experimento, visto que o posicionamento de imagens e textos podem interferir no direcionamento pupilar. Outros aspectos a serem destacados são que a interpretação dos dados requer um certo nível de especialização; e a compensação entre custo e sensibilidade, ou seja, equipamentos com maior acuracidade são mais caros.

Um dos equipamentos para rastreamento ocular presentes no mercado, utilizado nesta Pesquisa, é o *eye-tracker Tobii X-120* (Tobii Technology, Suécia). Esse equipamento permite uma taxa de amostragem de 120 Hz, resolução espacial de 0,2°, acurácia média de 0,5° e um desvio de 0,3°. Sua representação apresenta-se semelhante à Figura 4. A precisão de captura ocorre por variações em ângulos de até 35°. Corresponde a um equipamento de base fixa que deve ser diretamente acoplado a um computador, seja por conexão via cabo ou *wireless*.

Figura 4 - Equipamento eye-tracker Tobii X-120



Fonte: Tobii (2020).

Este equipamento teve seu uso condicionado ao *software* desenvolvido pela Tobii Studio, versão 2.2. Existem aproximadamente 120 medidas que podem ser aferidas pelo *eye-tracker* (HOLMQVIST *et al.*, 2011). No que concerne à mensuração do rastreamento ocular, os eventos como fixações, sacadas e respostas de variação do diâmetro da pupila são as ocorrências de nosso interesse, pois na literatura apresentam ligações à reflexão do processamento cognitivo, dada a demanda das tarefas (SHOJAEIZADEH *et al.*, 2019; ZÉNON; SOLOPCHUK; PEZZULO, 2019; FEHRENBACHER; DJAMASBI, 2017; KAHNEMAN, 1973).

A fixação refere-se ao conjunto de pontos relativamente estáveis com certa aproximação espacial e temporal. Na fixação, os olhos mantêm-se firmes à representação visual e, portanto, tende a refletir a atenção a um estímulo (HOLMQVIST *et al.*, 2011). Muitos são os estudos que evidenciam que a duração da fixação aumenta à proporção que o processamento da informação se torna mais complexo e trabalhoso, com o maior desprendimento de atenção (VAN DER LAAN *et al.*, 2015; MEGHANATHAN; VAN LEEUWEN; NIKOLAEV, 2014; HE; MCCARLEY, 2010). E, estudos como o desenvolvido por Armel, Beaumel e Rangel (2008) correlacionam a métrica de primeira fixação a aspectos que refletem a influência sobre as preferências.

As sacadas são movimentos rápidos e reflexivos que ocorrem, tipicamente, entre três e quatro vezes por segundo e duram entre 10 e 100 milissegundos (MARTINEZ-CONDE; MACKNIK; HUBEL, 2004; RICHARDSON; SPIVEY, 2004). As sacadas apresentam uma velocidade aproximada de 700°/seg, em média (CARPENTER, 1988). A maior duração dos movimentos oculares das sacadas pode indicar um aumento do esforço cognitivo para localizar um ponto de reconhecimento adequado para uma exibição visual (HOLMQVIST *et al.*, 2011).

A pupilometria estuda a dilatação da pupila referente ao aumento induzido pelos estímulos dado um período de referência (pré-estímulo), sendo também denominado como resposta pupilar evocada por tarefas (GOLDINGE; PAPESH, 2012). Estudos apontam que a dilatação da pupila se reflete como um índice de esforço das tarefas de controle cognitivo, conforme anteriormente evidenciado (VAN DER WEL; VAN STEENBERGEN, 2018).

Nas pesquisas pupilométricas quando apenas uma região do estímulo corresponde ao ponto de interesse para a análise, podem-se fazer uma delimitação desse respectivo ponto, sendo denominado de regiões de interesse, ou áreas de interesse (em inglês, *Areas of Interest*, AOI). Por exemplo, considerando que o estímulo é uma tela na qual apresenta gráficos e questões, mas para efeito de interesse na pesquisa, apenas a região gráfica deve ser analisada. Assim, por meio das AOI é possível circundar e apenas avaliar as regiões dos gráficos para a análise, por exemplo.

2.3.1.2 Electroencefalograma (EEG)

O EEG mensura as atividades elétricas do cérebro na resolução de milissegundos. Esses sinais são decorrentes do sincronismo das células neurais que durante as atividades cerebrais propagam potenciais elétricos extracelulares. A captura ocorre por meio de eletrodos que são fixados no escalpo do indivíduo. Existem dois tipos de EEG, os com eletrodos secos e os com eletrodos molhados, esses são umidificados com uma solução aquosa alcalina. A tecnologia do EEG possibilita uma excelente captura temporal cerebral, sendo amplamente utilizada para a plotagem de mapas topográficos das atividades cerebrais.

No processo de aquisição dos dados, o sinal do EEG por ser influenciado por fatores exógenos e fisiológicos, além de deterem baixa amplitude estão sujeitos a artefatos. Estes artefatos têm origem diversas, sejam por aspectos tecnológicos (incluindo fatores como ruídos de linha) ou mesmo por fatores humanos derivados da dinâmica do organismo humano (incluindo fatores como atividade cardíaca, movimentos oculares, movimentos musculares) (REUTER; MONTAG, 2016). Esses “dados adicionais” precisarão ser retirados dos dados

cerebrais, e um procedimento plausível apresenta-se descrito no Capítulo 3. O EEG tem a desvantagem da sua baixa resolução espacial, além disso pode-se pontuar a requisição de experiência para o correto posicionamento dos eletrodos para a coleta do sinal, bem como para a extração de informações relevantes no processamento e análise dos dados.

Convencionalmente, a base das bandas de frequência cerebral corresponde a quatro tipos, δ (*delta*, 1 a 3 Hz), θ (*theta*, 4 a 7 Hz), α (*alpha*, 8 a 13 Hz) e β (*beta*, 14 a 30 Hz) (RAMSØY *et al.*, 2018). Ainda existe a frequência *gamma* definida por ondas maiores de 30 Hz. Nessa perspectiva, pesquisadores como Houtan *et al.* (2018), Wan Ismail *et al.* (2016) e Klimesch (1999) apresentam algumas características associativas a cada uma das frequências cerebrais, sendo:

- *Delta*: relaciona-se a empatia, acesso a mente inconsciente, pensamentos mais lentos e retroativos;
- *Theta*: consiste em um estado de inspiração, criatividade, análise da realidade. A banda *theta* relaciona-se a banda *gamma* nos aspectos pertinentes à memorização e na recuperação de informação;
- *Alpha*: está presente na percepção visual, memória e aprendizagem, coordenação mental. Em geral, reduções na potência da banda *alpha* relaciona-se ao aumento da concentração no indivíduo, ou mesmo ser um indicador para execução de atividades mentais;
- *Beta*: relaciona-se ao pensamento rápido, a tomada de decisão, o foco, a atenção, ao estado de alerta, ao engajamento, e a alta ansiedade. Corresponde à banda de frequência com maior atividade mental em estado consciente;
- *Gamma*: incide em momentos de *insight*, alto nível de processamento de informações, pensamento rápido. Além de estar fortemente associada com os processos cognitivos de atenção e memória.

O EEG para a captura de sinais não requer taxas de amostragens elevadas, podendo existir equipamentos que variem de centenas a milhares de Hz. A análise da frequência das bandas das atividades elétricas é bem explorada na perspectiva cognitiva (BAZANOVA; VERNON, 2014; POLANÍA *et al.*, 2014; ZAUNER *et al.*, 2012; PUTMAN *et al.*, 2010). Especialmente as bandas *alpha*, *beta* e *theta* são exploradas dadas as correlações com os estudos de atenção e engajamento decorrentes da realização de tarefas (PUTMAN *et al.*,

2010). Para este tipo de análise, nota-se quanto existe de cada frequência em certo intervalo de tempo, para um único ou um conjunto de canais.

Outra métrica bem típica para os dados do EEG corresponde à análise de potencial evocado (do inglês *Event-Related Potential*, ERP), que representa as variações de latências do potencial elétrico. Consistem em deflexões positivas e negativas em espaço determinado de tempo (REUTER; MONTAG, 2016). Existe uma larga gama de variações de potenciais, diferindo quanto a sua significância. Pornpattananangkul *et al.* (2019) enfatizaram o P300, ou simplesmente P3, como uma perturbação espectral relacionada a alocação de recursos de atenção, voltando-se para a aprendizagem. É importante salientar que nessa análise considera-se o pico de deflexão de potência próximo aos 300 ms após a apresentação do estímulo, ou o terceiro pico também após o estímulo. Quando ocorre em sua vertente negativa recebe a grafia “N”, assim para esta situação seria N300. Outros picos tais como, P200 ou P2 relaciona-se com decisões perceptivas, atenção visual, e obtenção de informações na perspectiva da linguagem e memória.

Estudos de assimetria entre os pares dos eletrodos considerando os valores de potências logarítmicas, especialmente os frontais, também são recorrentes nesse campo de estudos (FECHNER; SCHOOLER; PACHUR, 2018; RAMSØY *et al.*, 2018). Assim, análises dos escores de Assimetria Frontal Alpha (em inglês *Frontal Alpha Asymmetry*, FAA) e do índice de Assimetria Pré-Frontal (em inglês *Prefrontal Asymmetry Index*, PAI) podem reforçar o ganho de informações sobre parâmetros EEG para o comportamento dos indivíduos (FISCHER; PERES; FIORANI, 2018; RAMSØY *et al.*, 2018; JANN *et al.*, 2010). Dessa forma, é possível verificar a assimetria entre os eletrodos e correlacioná-las a métricas como atenção e engajamento.

Dentre os equipamentos disponíveis no mercado, o utilizado nesta pesquisa, é o *neuroheadset* da Emotiv EPOC® (ver Figura 5). Esse EEG permite a mensuração das atividades de potencial elétrico do córtex cerebral em 14 canais (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4) e possuem mais dois eletrodos de referência. Esses eletrodos de referência consistem em um circuito calibrador que permite a aferição da captura dos sinais por cada um dos canais do EEG. O *neuroheadset* da Emotiv EPOC® possui uma taxa de resolução de 14 *bits* e uma taxa de amostragem de 128 Hz. Esse equipamento apresenta uma conexão sem fios baseada em transmissão *wireless* e possui a condutância por eletrodos molhados via solução alcalina.

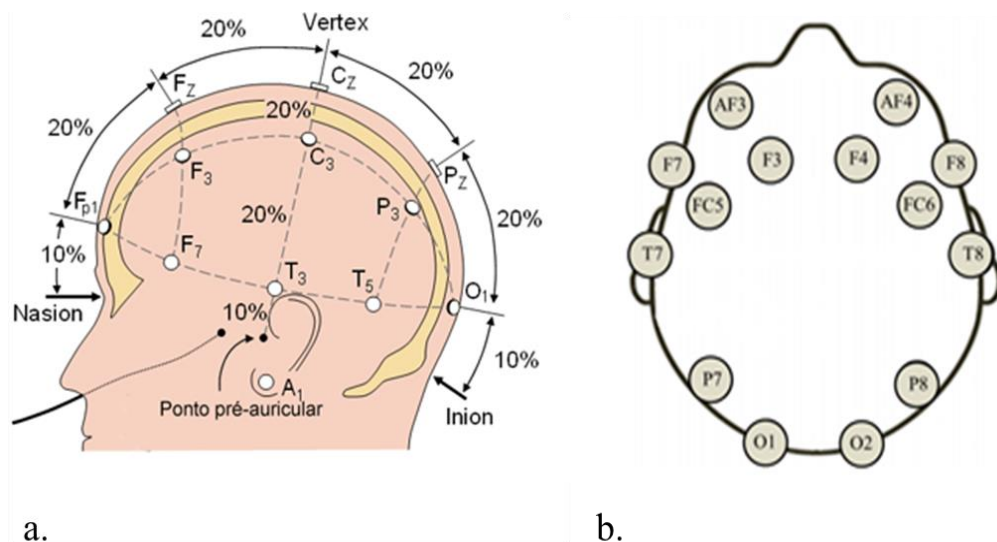
Figura 5 - Equipamento neuroheadset Emotiv EPOC®



Fonte: Adaptado de Emotiv (2020)

O *neuroheadset* da Emotiv EPOC® permite uma disposição dos eletrodos no escalpo segundo o Sistema Internacional 10–20 (ver Figura 6a). E, seu alcance explicita-se a localização das regiões cerebrais dos eletrodos em: AF3 e AF4 (Frontal Anterior); F3, F4, F7 e F8 (Frontal); FC5 e FC6 (Frontal Central); P7 e P8 (Parietal); T7 e T8 (Temporal); e O1 e O2 (Occipital) (REUTER; MONTAG, 2016), conforme a Figura 6b.

Figura 6 - a. Sistema Internacional 10/20. b. Configuração dos eletrodos no Emotiv EPOC



Fonte: a. adaptado de Reuter e Montag (2016). b. Adaptado de Emotiv (2020)

Diante dos novos conhecimentos sobre as decisões, os equipamentos e abordagens da neurociência, percebe-se uma lacuna na literatura quanto ao contexto do processo de tomada

de decisão sequenciais complexas e modelagem de preferência. Para fornecer subsídio a essa assertiva no tópico seguinte são explorados os estudos relevantes e recentes que relacionam a esse contexto, incitando as novas possibilidades de pesquisas.

2.4 TENDÊNCIAS DOS ESTUDOS COMPORTAMENTAIS ALINHADOS A TOMADA DE DECISÃO

Na modelagem das preferências, frequentemente, o decisor enfrentam dificuldades diante da complexidade das abordagens de tomada de decisão. Nessa perspectiva, tem-se estudos como o de Molina *et al.* (2019), que ao reconhecer os desafios ao decisor para expressar as preferências, propõem um modelo de representação algébrica compacta para representar o processo de hierarquia entre os critérios.

Ao longo dos últimos 20 anos, conforme pontuam Glimcher e Fehr (2014), tem sido crescente o interesse pelos estudos que envolvem a tomada de decisão e os aspectos comportamentais. Wallenius e Wallenius (2008) pontuaram que os estudos acerca do comportamento do decisor compreende um tópico de relevância para o avanço no campo MCDM/A. Portanto, os estudos comportamentais correspondem a um importante e inovador passo para maior entendimento desses pontos de dificuldade diante das abordagens formais para a tomada de decisão.

A presente seção divide-se em três partes. A primeira parte apresenta algumas das dificuldades encontradas pelos decisores para a elicitación das suas preferências, para isto, foi tomado como base pesquisas recentes desenvolvidas no campo dos recursos hídricos. Na segunda parte são estabelecidas discussões considerando um amplo contexto do processo decisório e os estudos comportamentais do decisor. E, a terceira parte volta-se as descobertas da perspectiva comportamental relacionadas especialmente ao campo da tomada de decisão multicritério.

2.4.1 Dificuldades do processo de elicitación de preferências

A crescente evolução tecnológica alvitra desafios constantes aos sistemas de apoio a decisão. Dentre esses desafios pode-se pontuar a capacidade de reconhecer interferência dos aspectos subjetivos impostos ao decisor durante o ato de decidir. Em especial, a explanação a seguir se ateve a modelagem de preferências que constitui uma fase fundamental do processo decisório, conforme anteriormente explanada.

A modelagem de preferência é importante para que o decisor entenda a relação entre suas preferências e os possíveis resultados do processo de tomada de decisão (POMMERANZ

et al., 2012). Por ser susceptível às interferências externas e internas, torna-se desafiador empreender estudos comportamentais sobre a eliciação de preferências. Dificuldades nesta fase do processo decisório foram evidenciadas por estudos anteriores. Delquie (2003) aponta que situações que envolvem conflitos aumentam a dificuldade de decisão (modelagem de preferências) e a falta de confiabilidade da resposta.

De modo a exemplificar aspectos de dificuldades na modelagem de preferências do decisor quatro estudos foram analisados. As temáticas desses estudos são comuns e tratam problemas de recursos hídricos. Esta é uma problemática atual e de alta relevância, ao considerar a imprescindibilidade deste recurso na vida humana, bem como na dinâmica global. Muitas regiões do Brasil e do mundo ainda enfrentam dificuldades com relação a esse recurso, seja com relação a sua disponibilização, bem como seu gerenciamento quanto ao fornecimento e o seu uso racional. Os problemas de decisão que serão discutidos abordam questões acerca do processo de manutenção na rede de abastecimento ou crise hídrica.

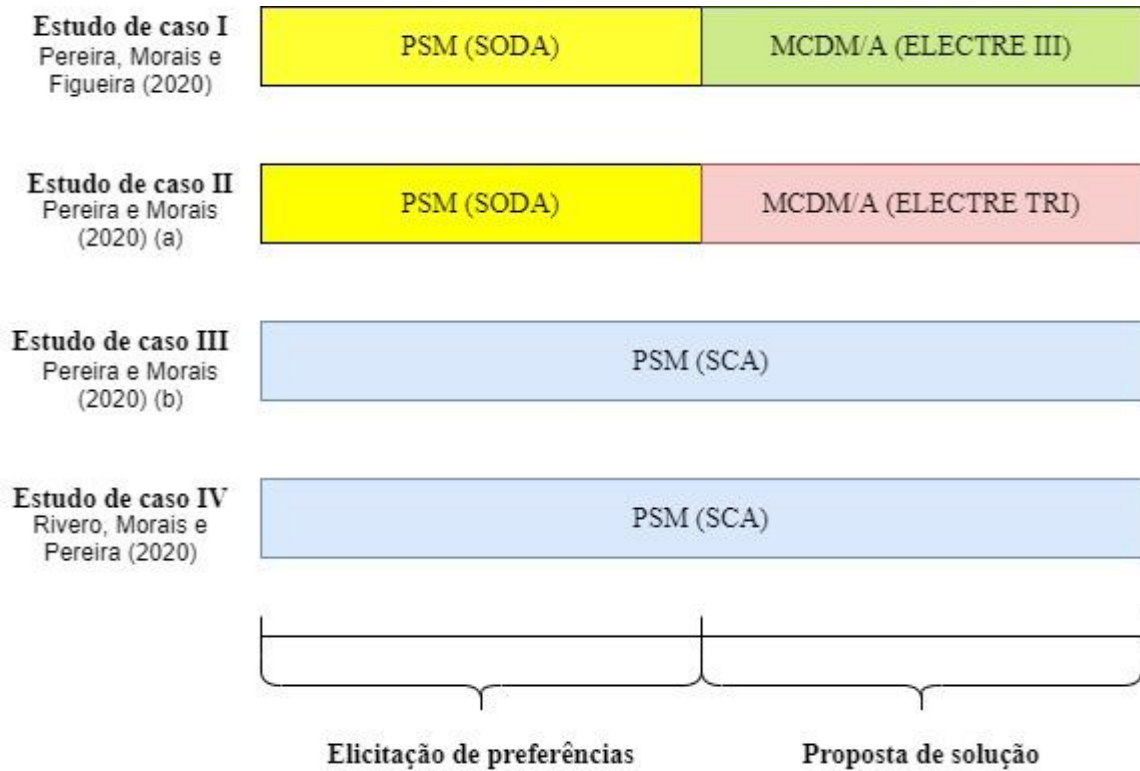
Com relação aos procedimentos metodológicos utilizados nos quatro estudos de caso, tem-se que todos apresentam a aplicação dos métodos de estruturação de problemas (do inglês *Problem Structuring Methods*, PSM) na fase de eliciação de preferências. Adicionalmente, dois dos estudos abordados também fizeram uso dos métodos multicritério, especialmente da família de sobreclassificação, para a definição de uma solução ao problema. A Figura 7 representa esquematicamente os estudos a serem detalhados de acordo com o procedimento metodológico empregado.

Conforme a Figura 7, dois PSM fizeram-se presentes nos estudos de caso a serem discutidos, o SODA (*Strategic Options Development and Analysis*) e o SCA (*Strategic Choice Approach*). Portanto, as atenções serão direcionadas as dificuldades encontradas pelo facilitador diante da aplicação destas abordagens. É importante destacar também a dificuldade do(s) decisor(es) para delimitar o problema de decisão. Especialmente por ser um campo de atuação com muitas partes envolvidas e objetivos inter-relacionados.

Resumidamente, tem-se que a abordagem SODA permite a eliciação de preferências diante do uso da ferramenta do mapeamento do mapeamento cognitivo. Com relação a sua aplicação foi observado que os maiores pontos de dificuldades correspondiam a relacionar entre si os nós (constructos). Ou seja, estabelecer as ligações de causa-efeito. Portanto, quantos mais constructos existissem nos mapas, uma progressão do nível de dificuldade era verificada. Percebe-se também que na validação do mapa estratégico, os decisores apresentavam mais dificuldades para aceitar um constructo que não haviam pontuado em seus

mapas individuais, do que aceitar uma mudança na relação da ligação causa-efeito de um constructo que havia considerado previamente.

Figura 7 - Esquematização das metodologias empregadas nos estudos de caso



Fonte: A Autora (2020).

Estudos como Lima, Pereira e Morais (2019) propuseram um modelo na qual utiliza as ferramentas de neurociência (*eye-tracker* e EEG) para investigar aspectos cognitivos dos decisores, especialmente a atenção, durante o processo de validação do mapa estratégico do SODA. Pesquisas dessa natureza irão permitir conhecer, por exemplo, se os pontos em um mapa cognitivo na qual o decisor esboça um período maior de tempo em investigação repercute em um nível de atenção maior, ou mesmo potencializa outro comportamento humano, como o nível de estresse.

Com relação ao procedimento de elicitação de preferências através do SCA, que visa entregar ao decisor um planejamento estratégico com ações a serem implementadas no presente e no futuro, tem-se que dois pontos devem ser ressaltados. O primeiro consiste na dificuldade dos decisores expressarem suas preferências na matriz de compatibilidade, ou seja, a matriz que permite que as opções de cada área de decisão sejam comparadas entre si. Nesse ponto, quanto mais opções de decisão, maior o nível de complexidade da etapa. Outro

ponto de dificuldade correspondeu a etapa para determinação dos “pesos” dos critérios. Nesta etapa, cada opção de decisão precisa ser comparada por cada critério. Portanto, a depender da quantidade de *inputs* tende a ser uma longa duração.

Comprovação científica de que essas referidas etapas das abordagens SODA e SCA apresentam um alto custo cognitivo constitui uma importante fundamentação para estudos futuros. Portanto, percebe-se que há importantes momentos que em caso de investigação na dimensão comportamental tenderia a proporcionar conhecimentos elevados quanto ao procedimento de elicitación de preferências. Isto, a ponto de proporcionar maior flexibilidade e facilitar a usabilidade da abordagem. No próximo tópico é abordado como a perspectiva comportamental vem sendo considerada para o estudo geral do processo decisório.

2.4.2 A perspectiva comportamental na tomada de decisão em geral

Um pré-requisito para qualquer metodologia que almeja investigar processos cognitivos consiste em compreender a estreita relação entre o comportamento observável manifestado e os processos cognitivos ocultos subjacentes (SCHOEMANN *et al.*, 2019). Portanto, esta seção será regida pela descoberta desses comportamentos observáveis nos três campos de estudos anteriormente pontuados: *Neuroeconomics*, *Consumer Neuroscience* e *NeuroIS*. Desta maneira, serão plotados mapas bibliométricos para que seja possível visualizar os inter-relacionamentos preponderantes entre os termos comumente presentes para cada um desses três campos de estudos. A base de dados utilizada foi a *Web of Science* em razão de agregar um conjunto significativo de periódicos de relevante fator de impacto, além de deter um alto rigor metodológico de análise para que esses periódicos permaneçam na base. Para suporte na construção dos mapas bibliométricos foi utilizado o *software* VOSviewer.

Em relação ao termo *neuroeconomics*, pouco mais que 700 estudos foram encontrados diante da sua correlação com o termo “*Decision*” na base de dados *Web of Science*. Assim, a Figura 8, mostra o mapa bibliométrico diante das palavras chaves desse conjunto de estudos (ou seja, os com os termos de busca – “*neuroeconomics*” and “*decision*”). Abordagens recorrentes nesses estudos são a teoria dos jogos, a teoria do prospecto, e as decisões sobre julgamentos de valor, risco e incerteza. Para o campo *neuroeconomics* outro fator característico consiste no desenvolvimento de jogos para favorecer a simulação do ambiente de decisão.

indivíduos a ganhos e perdas de acordo com suas escolhas individuais. Neste jogo os participantes foram definidos como gerente de uma companhia de serviços de limpeza. O problema consistia em maximizar os lucros da empresa com o planejamento mensal da prestação de serviços. Diversas situações de incertezas foram incorporadas ao ambiente virtual. Utilizando-se de dados pupilométricos foi possível indicar que o estímulo de punição causou mais dilatação da pupila do que o estímulo de recompensa. Considerando a atividade elétrica cerebral, um ERP foi observado 300 ms após a exibição do evento, configurando o P300, indicando maior amplitude no estímulo de punição. Portanto, os resultados deste estudo sugerem que a magnitude da punição causa mudanças emocionais negativas ou um próprio sentimento de frustração.

Nessa temática de recompensa, um questionamento interessante condiz em saber como os indivíduos tomam decisões entre uma recompensa imediata, porém de menor valia, e uma recompensa atrasada, mas com maior valia? Dessa maneira, Scherbaum *et al.* (2016) aplicaram quatro experimentos concentrando-se nas variações das funções desconto por meio de uma descrição dinâmica. Este estudo permitiu uma ampla compreensão das escolhas intertemporais e sobre a possibilidade de manipulação dos descontos.

Em termos de incertezas estratégicas Nagel *et al.* (2018) desenvolveram um estudo baseado em loterias para estudar os fenômenos neurais relacionados. Utilizando o equipamento de fMRI, foi obtido que a rede cerebral (ínsula anterior, córtex pré-frontal dorsomedial e córtex parietal) que media o risco durante as loterias também está envolvida no processamento da incerteza estratégica.

Schoemann *et al.* (2019) também utilizaram as mensurações oculares para investigar o comportamento dos decisores diante do uso de estratégias de decisão específicas (maximizar os valores esperados ou aplicar diferentes heurísticas de escolha). Maiores tempos de permanência para a estratégia foram obtidos em situações que o decisor buscou maximizar seus valores esperados, indicando um nível mais profundo de processamento. Hommel *et al.* (2014) desenvolveram um estudo abrangente sob o efeito comportamental da atenção. Como resultado, tem-se que a capacidade de respostas do decisor é submetida a um rígido controle de atenção, mesmo que o conjunto de tarefas seja frequentemente modificado.

Bault, Wydoodt e Coricelli (2016) propuseram um estudo para investigar as escolhas realizadas em tarefa probabilística de loteria diante das métricas das respostas oculares. Esses autores afirmam que quando escolhemos entre alternativas detemos a oportunidade de comparar as consequências de nossas escolhas com as consequências de alternativas não escolhidas. No entanto, uma comparação desfavorável entre os resultados obtidos e esperados

das escolhas tende a provocar decepções, e emoções como arrependimento pode servir como aprendizado. O estudo trabalhou com duas perspectivas de estímulos, o *feedback* parcial e o *feedback* completo. Como resultado, obteve-se que os movimentos de fixação se relacionavam as diferenças de preferência e com os *feedbacks* para perdas. Assim, o *feedback* parcial relaciona-se a avaliação afetiva do resultado foi modulada pelo valor do resultado não realizado da loteria escolhida, enquanto no *feedback* completo, a avaliação afetiva do resultado obtido foi modulada pelo valor do resultado da loteria não escolhida. Portanto, estudos dessa natureza indicam que modelos de aprendizado por reforço tendem a ser beneficiados diante da incorporação do aspecto de arrependimento.

De acordo com Causse *et al.* (2019), dada a seleção futura das alternativas, os decisores tendem a prestar mais atenção as informações principais. Neste estudo, os tempos de fixação do usuário foram utilizados para estimar a utilidade das escolhas no processo de tomada de decisão.

Miletić e van Maanen (2019) buscaram compreender a relação entre a cognição temporal e a tomada de decisão nas situações sob a pressão de prazo de tempo de resposta. Como resultado, os pesquisadores obtiveram que de modo geral, os decisores são incapazes de prever e reproduzir precisamente intervalos de tempos, de modo que tomam decisões menos cautelosas quando estão sob a condição de estresse de prazo. Considerando especialmente a construção das preferências, Alexandre *et al.* (2019) focaram no aspecto da racionalidade. Nesse estudo, buscou-se conhecer a predisposição do decisor para o uso de ferramentas cognitivas para o processo de decisão. Então, diante dos três experimentos foi comprovado que os decisores preferem usar uma ferramenta cognitiva e em especial que favoreça a memória de trabalho, visto que se busca a efetividade e não a eficiência, bem como as meta-representações do desempenho cognitivo.

Cheng e González-Vallejo (2018) propuseram um estudo para compreender aspectos relacionados à dificuldade de decisão e dos desafios em lidar com informações numéricas. Neste estudo verificou-se a relação entre os estados pré-decisórios e a preferência final. De forma a exemplificar, tem-se que os decisores tendem a maiores conflitos e incertezas ao selecionar a opção vantajosa em longo prazo na tarefa de escolha intertemporal. Maior conflito também está presente nas escolhas que selecionam ganho mais arriscado e perda mais segura.

Considerando a abordagem *consumer neuroscience* um total de 117 estudos foram encontrados na base de dados *Web of Science*. A Figura 9 mostra o mapa bibliométrico obtido pela análise das palavras chaves diante desse termo de busca – “*consumer neuroscience*”. De

Meyerding e Mehlhose (2020) propuseram um estudo utilizando a espectroscopia funcional em infravermelho próximo (do inglês *Functional Near-Infrared Spectroscopy*, fNIRS) para testar os impactos de marcas e rótulos quanto a ativação na região do córtex pré-frontal (do inglês *Pre-Frontal Cortex*, PFC). Dentre os resultados obtidos os produtos rotulados levaram a um aumento significativo da atividade neural no PFC em comparação com os mesmos produtos sem rótulo. Quanto a marca, o teste tratou de refrigerantes a base de cola, dividindo-os em marcas fortes e marcas fracas. As marcas fortes geraram maior ativação do PFC em comparação as marcas fracas. Em outra abordagem, Krampe *et al.* (2018) examinaram a reação neural do consumidor a diferentes estratégias de comunicação de *merchandising* no ponto de venda pelo fNIRS. Neste estudo foi demonstrado que o córtex orbitofrontal (do inglês *Orbitofrontal Cortex*, OFC) pode ser crucial para processar e prever a eficácia da estratégia de comunicação de *merchandising*.

A questão sobre a primazia dos preços foi evidenciada por Karmarkar, Shiv e Knutson (2015). Assim, foi investigado o quanto o momento da informação de preço influencia ou não o valor do produto e as decisões de compra. Diferentes padrões no PFC foram notados a depender se os participantes sabiam os preços antes ou após visualizarem o produto associado. Os dados neurais indicaram que, quando o produto apareceu anteriormente, os participantes estavam tomando a decisão de compra perguntando "Eu gosto disso?" Mas, quando os preços apareceram pela primeira vez, a questão da decisão parecia mudar para "Isso vale a pena?".

O comportamento do cliente é fortemente influenciado pela percepção do ambiente e sentimentos de bem-estar. Assim, arranjos com iluminação torna possível atrair atenção, criar um ambiente único e oferecer aos clientes uma razão para permanecer e retornar à loja. Essa consistiu na premissa levantada por Bercík *et al.* (2016). Utilizando um equipamento de EEG, e métricas como a análise de frequências das bandas cerebrais obteve-se que, escolhendo e configurando a iluminação corretamente (intensidade, temperatura de cor, índice de reprodução de cores) é possível criar uma apresentação atraente que se reflete em uma resposta emocional positiva ao consumidor.

Na perspectiva da atribuição de valor e preferências as alternativas de uma decisão, Kang *et al.* (2011) propuseram um estudo para confrontar diferenças nas atividades cerebrais entre escolhas hipotéticas e escolhas reais. Utilizando o equipamento do fMRI e um contexto de aquisições de bens de consumo, as áreas do córtex orbitofrontal e do córtex estriado ventral foram evidenciadas. Outro importante achado condiz que maiores índices e pontos de ativação foram visualizados quando os participantes decidiam sobre hipóteses reais. Em um

semelhante contexto, Voigt *et al.* (2019) estudaram o contexto das alterações de preferência e os correlatos neurais durante decisões difíceis. As alterações de preferências foram evidenciadas por tecnologia fMRI em áreas cerebrais do córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo (do inglês *dorsolateral prefrontal cortex*, dlPFC) e do *precuneus*. Nesse estudo foi enaltecido que as preferências são ajustadas em tempo real, e quando as decisões foram balanceadas compativelmente a incentivos, ativações foram elevadas nos casos de aceitação e diminuíram após a rejeição.

Meißner, Musalem e Huber (2016) afirmam que o rastreamento ocular também permite avaliar se o *layout* da tarefa ou as exposições aleatórias são capazes de distorcer a atenção e a escolha do participante. Neste estudo, a atenção dos entrevistados aos recursos de determinada alternativa é afetada pela escolha deles, com maior atenção aos aspectos positivos do que aos negativos das ações escolhidas. Os resultados mostraram que a primeira alternativa analisada e a alternativa posicionada centralmente tendem a receber maior nível de atenção. No entanto, este nível extra de atenção não é capaz de elevar confiavelmente a probabilidade desta alternativa ser a escolhida. Nesse estudo, a principal contribuição é que a utilidade da ação corresponde aos principais fatores de influência de atenção e escolha. E, nos casos de escolher uma alternativa de forma rápida maiores resultados de fixações devem se atrelar as características positivas.

Danner *et al.* (2016) propuseram a investigação da relação entre o comportamento ocular e as decisões de escolha em contexto de multialternativas. Os resultados mostraram fortes correlações entre escolha e comportamento de observação, em meio de maior número de fixações, maior duração das fixações e maior contagens para a alternativa que havia sido selecionada. Hopfinger e Slotnick (2020) reforçam que os processos de controle de atenção e de função tomadora de decisões são críticos para navegar e operar eficientemente na vida cotidiana.

Karmarkar e Plassmann (2019) afirmam que a abordagem de *Consumer Neuroscience* é propensa a largos avanços e apontam alguns desafios. A influência cultural sobre o poder de compras tem denotado uma diferença de personalidade e de comportamento do cérebro. Outro ponto corresponde ao estudo do comportamento dependente da idade e as perspectivas sobre os padrões de consumo, em especial pois o envelhecimento repercute em alterações cerebrais subcorticais que estão diretamente relacionadas a tomada de decisão do consumidor. Devem também ser intensificadas os estudos relacionados às pressões de conformidade social no *marketing*.

pontuar que a literatura de *neuroIS* também busca uma profunda compreensão das tecnologias da informação, conforme ressaltado diante das fortes relações para o termo “*information-technology*”. Dentre outros elementos do mapa também é destacado o termo confiança (“*trust*”), pois é comum o desenvolvimento de jogos que simulem situações de decisão para medir a confiança do decisor.

Anderson *et al.* (2016) desenvolveram um estudo acerca da segurança das informações, visto que embora os usuários sejam suscetíveis a mensagens maliciosas (tais como ataque de *phishing*) eles apresentam uma resistência as mensagens de proteção. Neste estudo quatro vertentes de análise foram estabelecidas para analisar, sendo: habituação, estresse, medo e a interferência na tarefa. Dentre os resultados encontrados foi pontuado fortemente a habituação, na qual por meio de dados provenientes do movimento ocular notou-se que os usuários tendem a examinar, inconscientemente, menos estímulos que viram anteriormente outros estímulos. Portanto, estes pesquisadores comprovaram uma atenuação nessa memória de habituação diante de avisos polimórfico das mensagens de segurança, pela qual sua aparência é continuamente atualizada.

Slanzi, Balazs e Velásquez (2017) empreenderam um estudo combinando respostas pupilares e do EEG para predizer a intenção de cliques em ambiente virtual. Esta perspectiva de estudo é especialmente interessante para que pesquisadores e desenvolvedores de *sites* proponham ambientes reais satisfaçam as preferências dos usuários da *web*. Esse é um fato importante ao considerar a relação dinâmica entre a *web* e seus usuários. Dentre os resultados obtidos foi notada a existência de uma diferença estatística entre as curvas de dilatação da pupila entre escolha e não escolha, cujas fixações correspondentes aos cliques tinham maior tamanho da pupila do que as fixações sem um clique.

Teubner, Adam e Riordan (2015) buscaram compreender o impacto dos agentes informatizados com relação as emoções imediatas, a excitação e o próprio comportamental em licitações nos leilões eletrônicos. Os dados fisiológicos foram obtidos diante das respostas da condutância da pele e as medições da frequência cardíaca. Dentre os achados desse estudo pontua-se uma correlação negativa entre a excitação geral e os lances ao competir com concorrentes humanos, fenômeno não observado com agentes computadorizados. Menores níveis de emoções também foram registrados na competição com agentes. Os resultados desse estudo trazem implicações diretas para o *design* de plataformas e mercados de leilão eletrônico que incluem agentes humanos e computadorizados. Nessa perspectiva é importante pontuar que Zauner *et al.* (2012) enfatizaram a necessidade de enriquecer os estudos relacionando o rastreamento da memória com a banda *alpha*, principalmente no que diz

respeito ao processo de transferência de informações perceptivas com relação a memória de curto prazo.

Para o SI relacionado ao Planejamento de Recursos Empresariais (do inglês *Enterprise Resources Planning*, ERP), os pesquisadores Leger, Riedl e vom Brocke (2014) buscaram compreender como usuários experientes e iniciantes se diferem em termos de respostas emocionais quanto ao uso desses sistemas em contexto de tomada de decisão. Com base em dados da atividade eletrodérmica, foi comprovado que situações emocionalmente carregadas, usuários iniciantes tendem a evitar a interação com um sistema ERP. Em vez disso, eles tendem a estabelecer comunicação com outros humanos para realizar suas tarefas. Diferentemente dos usuários experientes que usam o ERP mesmo sob situações de estresse. Estas evidências sugerem que em treinamentos organizacionais são fortalecidas as habilidades cognitivas, deixando a desejar quanto ao aprendizado efetivo (ou seja, o controle da ansiedade, sentimentos de apreensão, tensão ou mal-estar). Portanto, como meta deve-se implantar uma reestruturação dos treinamentos organizacionais para maior efetividade.

Ainda há que se destacar que com relação a tomada de decisão a temática da confiança em SI também constitui uma perspectiva da *NeuroIS* (XIONG; ZUO, 2020). Tais autores também pontuam que dentre as oportunidades emergentes a esse campo de estudo pode-se destacar a inclusão dos aspectos organizacionais e processos sociais. Além desses pontos, destacou-se que em geral as pesquisas de *NeuroIS* são realizadas com uma amostra jovem, então lança-se o desafio de empreender estudos comparativos e elucidativos dos processos psicofisiológico dos idosos frente aos SI.

Segundo Román *et al.* (2019), a competência para a tomada de decisão está relacionada as operações cognitivas para o desenvolvimento do raciocínio lógico. Considerando o fomento da complexidade em ambiente de tomada de decisão multicritério torna-se interessante aprofundar a investigar desta abordagem. Os principais achados da literatura estão descritos no tópico seguinte.

2.4.3 A perspectiva comportamental na tomada de decisão multicritério

Recentemente, algumas pesquisas de tomada de decisão envolvendo múltiplos atributos em perspectiva comportamental foram desenvolvidas. Considerando que há um consenso na neurociência comportamental que o cérebro faz escolhas simples, atribuindo de início um valor a todas as alternativas pontuadas e depois as comparando (RANGEL; CAMERER; MONTAGUE, 2008), neste tópico são abordadas as decisões mais complexas na perspectiva multicritério. Em geral, ao escolher entre duas opções que variam ao longo

múltiplos atributos, os decisores frequentemente enfrentam o conflito, pois provavelmente precisam mensurar os desempenhos de cada opção (ZHANG, HSEE, XIAO, 2006).

Quaschnig, Pandelaere e Vermeir (2014) propuseram um estudo para investigar o efeito da escolha entre os atributos de classificação durante a determinação do peso dos atributos. Este estudo constatou que a seleção do critério de classificação primária pode impactar as avaliações do decisor. Além disso, os movimentos oculares indicam que o efeito de classificação pode ser explicado por dificuldades de processamento. Em similar contexto, Uggeldahl *et al.* (2016) desenvolveram uma investigação sobre a escolha discreta usando métricas oculares para obter informações sobre a certeza da escolha dos participantes. Os resultados indicam que as respostas oculares podem fornecer uma restrição indicativa da certeza da escolha, principalmente por meio de medidas do tempo de reação.

Em um contexto de decisões binárias, van der Laan *et al.* (2015) desenvolveram experimentos para investigar a relação entre a formação de preferências e rastreamento ocular. Para efeito de estímulos foram considerados dois grupos comparativos, sendo eles: produtos alimentícios e produtos não alimentícios. A métrica em estudo foi à fixação, sendo manipulada a localização da primeira fixação. Nesse estudo foi obtido que o local da primeira fixação não influenciou a escolha do consumidor, e a duração da fixação era mais longa para a alternativa escolhida. Estudos dessa natureza apresentam uma fundamental importância para ações de *marketing* em lojas. Em um contexto similar, Milosavljevic *et al.* (2012) argumentam que as propriedades visuais das embalagens dos produtos tendem a exercer influência sobre as escolhas dos consumidores. Isto, em especial, nos casos de decisões rápidas, quando o decisor não detém uma forte preferência entre as alternativas em questão.

Em relação aos dados de atividade elétrica do cérebro, Krawczyk (2002) aborda o papel de regiões como o córtex pré-frontal na perspectiva da tomada de decisão, variando em complexidade, decisões simples ou decisões complexas, e potencialmente conflitantes. Nesta revisão literária, esta região é subdividida em três partes, sendo: (1) As áreas orbitofrontal e ventromedial (do inglês *orbitofrontal cortex*, OFC) apresentam maior relevância para situações de decisão com base em ganhos de incentivos, sendo essencial para a adaptação as mudanças ambientais, além de contribuem com informações emocionais relacionadas aos atributos e alternativas de decisão. (2) O córtex pré-frontal dorsolateral (dLPFC) é essencial nos casos de decisões sob incertezas, e quando é requerido integrar múltiplas fontes de informações para prever resultados futuros e a possibilidade do atingimento de metas. (3) O córtex cingulado anterior (do inglês *anterior cingulate*, AC) e ventral relaciona-se especialmente a situações conflitantes.

Em uma análise combinada, Khushaba *et al.* (2013) desenvolveram uma análise do comportamento psicofisiológico do decisor em um problema de escolha de *cookies*. As características variadas de forma, sabor e cobertura dos *cookies* representaram os atributos da decisão. Foi observada sincronização entre as áreas frontal e occipital, bem como um padrão de atividades espectrais de energia nos lobos frontal (*delta*, *alpha* e *beta*), temporal (*alpha*, *beta* e *gamma*) e occipital (*theta*, *alpha* e *beta*) as escolhas preferidas. Em uma perspectiva similar na análise da estética visual, Guo *et al.* (2019) propuseram um estudo para a avaliação estética de protótipos de luminárias de *led* apresentadas em 3D. Ao total, 32 protótipos foram analisados, e quatro atributos principais, sendo eles: unicidade, simplicidade, equilíbrio e beleza de cor. As métricas do *eye-tracking* estiveram voltadas para a recuperação visual de informações e as do EEG no processamento de informações. Os resultados de satisfação foram classificados em três níveis, alto, médio e baixo. Assim, com relação ao rastreamento ocular, o tempo de fixação e a duração da fixação foram diferentes para os três grupos classificatórios de luminárias. Além disso, as luminárias classificadas no baixo nível apresentaram um poder *alpha* enfraquecido, e um alto poder da frequência *gamma*, sendo contrário ao grupo das luminárias de alto nível.

Na perspectiva das decisões envolvendo as preferências dos consumidores, Sylcott, Cagan e Tabibnia (2013) investigaram os julgamentos com base nos aspectos estéticos e de função dos produtos. Como premissa considera-se que essa tomada de decisão é complexa e envolve processos analíticos e emocionais. Este estudo teve como fonte de dados a tecnologia do fMRI. Este estudo propõe que essa abordagem metaconjunta pode ser útil para explicar as decisões conflitantes dos decisores. E auxiliam em conclusões como os coeficientes *beta* nas funções de preferência sugeriram que os indivíduos pesavam a função mais fortemente que aspectos estéticos.

Por sua vez, Park *et al.* (2011) empregando o fMRI avaliou a atividade de decisão com a combinação de atributos de maximização e minimização. Neste estudo foi evidenciado a porção subgenual do córtex cingulado anterior (sgACC) e a amígdala, que está fortemente associada a fatores emotivos durante a execução de tarefas. Complementando, Hunt, Dolan e Behrens (2014) propuseram entender o processo de escolha multiatributo pelos mecanismos cerebrais. Assim, pontuam que embora fundamentos-chave do comportamento de escolha de atributos múltiplos sejam caracterizados na literatura, há um *gap* com relação aos conhecimentos de sua base neural. Neste estudo foi proposta uma competição hierárquica entre os critérios representados nas várias regiões cerebrais durante todas as fases do processo

de tomada de decisão. Fato este que serve como base para explicar a complexidade desse tipo de decisão.

Dessa forma, diante dos estudos apresentados, é possível perceber a vastidão e a complexidade envolvida nessa perspectiva de estudo multicritério e a neurodecisão, sendo, portanto, um campo promissor.

2.5 SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTE TRABALHO

Os estudos da neurociência, conforme apresentados ao longo deste capítulo, são permeados por uma multidisciplinariedade de abordagens, sejam elas: biológicas, psicológicas, econômicas, comportamentais, sociais entre outras. O campo da tomada de decisão atrelada aos estudos da neurociência ainda apresenta uma tímida magnitude. Este dado não significa um fator de menor importância, porém uma possibilidade de *insights* e um campo de estudo em potencial.

Diante do aporte conceitual apresentado neste capítulo é possível compreender o quão vasto representa as possibilidades de contribuições nesta área de pesquisa. Portanto, faz-se necessários trabalhos que cooperem com os avanços da literatura. A compreensão dos aspectos cognitivos tende a proporcionar melhorias nas ferramentas de apoio a decisão, consequentemente, favorecendo a disseminação das abordagens de apoio a decisão.

3 EXPERIMENTOS COM FERRAMENTAS DE NEUROCIÊNCIA PARA A MODELAGEM DE PREFERÊNCIAS EM DECISÃO MULTICRITÉRIO

Este capítulo descreve as duas atividades experimentais desenvolvidas nesta pesquisa, desde a sua estruturação até a apresentação dos resultados e respectivas discussões. De início são apresentados os aspectos comuns das atividades experimentais, relativas à caracterização dos participantes, aos métodos e procedimentos, bem como em relação ao processamento dos dados coletados a partir dos equipamentos de neurociência.

Em termos das análises desenvolvidas, o Experimento I resultou no Estudo 1 e no Estudo 2, enquanto o Experimento II resultou no Estudo 3 e Estudo 4. Todos os estudos focam na melhor compreensão dos aspectos cognitivos do decisor durante o desenvolvimento do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências, variando os seus fundamentos e parâmetros de análise.

3.1 PARTICIPANTES

As amostras dos experimentos foram compostas por estudantes de graduação e pós-graduação do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Os participantes cursavam a disciplina de Métodos de Apoio a Decisão Multicritério e, conseqüentemente detinham um prévio conhecimento sobre os procedimentos para elicitación de preferências e problemas multicritério. Todos os participantes eram saudáveis, declararam ter visão normal ou fazer uso de lentes corretivas, e não possuíam histórico de doenças neurológicas ou psicóticas.

No primeiro experimento totalizaram-se sessenta e um estudantes ($n = 61$), sendo 34 indivíduos do sexo masculino e 27 indivíduos do sexo feminino, compreendidos no intervalo de 18 – 40 anos ($\bar{x}_{idade} = 24,5$; $\sigma_{idade} = 5,34$). A amostra foi composta por 29 estudantes de graduação e 32 estudantes de pós-graduação. No segundo experimento totalizaram-se setenta e três estudantes ($n = 73$), sendo 41 indivíduos do sexo masculino e 32 indivíduos do sexo feminino, compreendidos no intervalo de 18 – 41 anos ($\bar{x}_{idade} = 25,3$; $\sigma_{idade} = 5,5$). A amostra foi composta por 30 estudantes de graduação e 43 estudantes de pós-graduação.

Este trabalho está pautado no projeto aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFPE (CEP/UFPE, CAAE – 69253017.0.0000.5208): “Estudos sobre comportamento de indivíduos no processo de tomada de decisão problemas de decisão multicritério e decisão em grupo e negociação com apoio de neurociências cognitiva e neuroeconomia”. Os participantes assinaram um documento de termo de consentimento de participação na pesquisa. Este

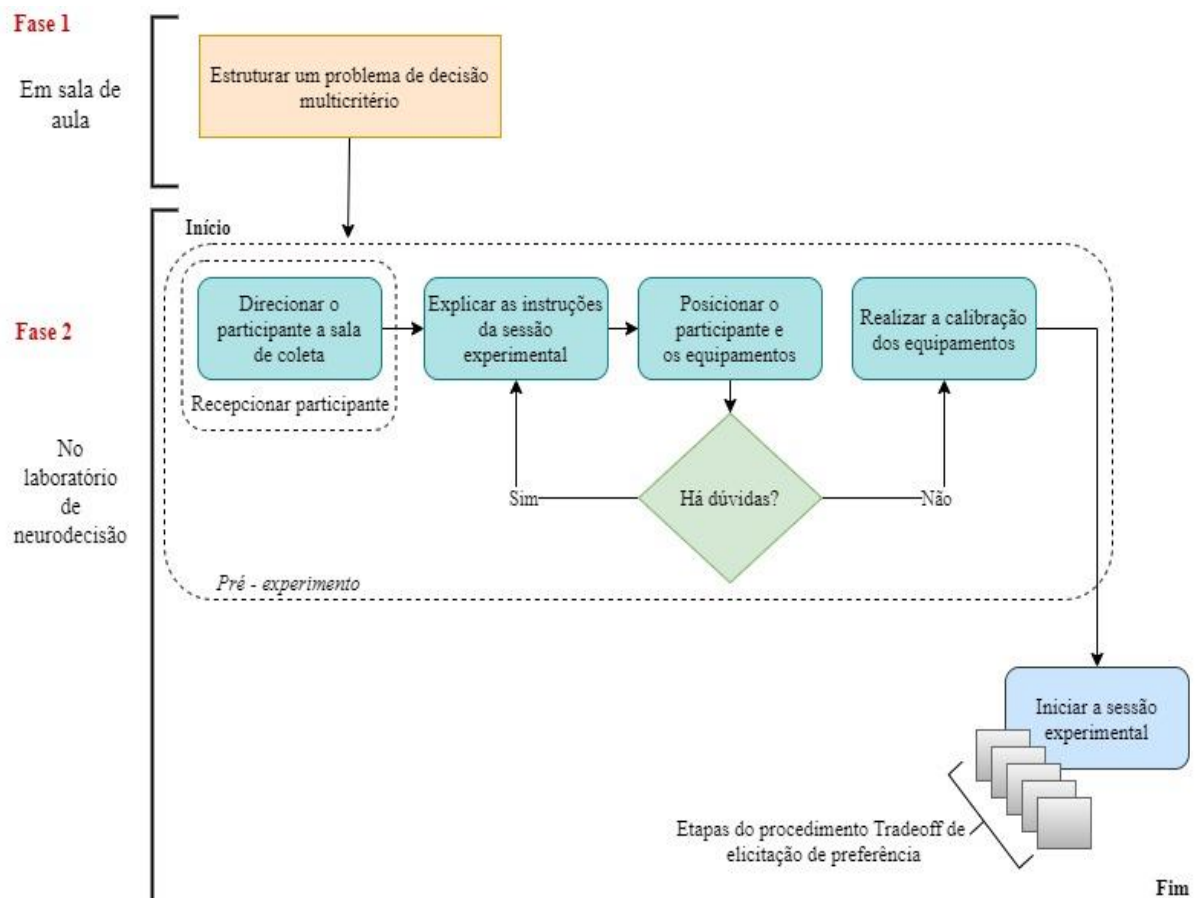
documento é denominado de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (Apêndice A). Toda documentação encontra-se arquivada no NSID (*NeuroScience for Information and Decision Laboratory*), local também da realização da coleta de dados das atividades experimentais.

Os experimentos foram realizados em dois anos, sendo o primeiro realizado no ano de 2018, e o segundo no ano de 2019. Cada participante foi único, ou seja, um mesmo participante não esteve presente em mais de um experimento. Esse é um importante fator, tendo em vista evitar ancoragem aos resultados diante de uma prévia experiência com as atividades demandadas.

3.2 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Os dois experimentos desenvolvidos apresentam uma base comum do método e procedimentos utilizados. O *design* desses experimentos foi fundamentado em duas fases, conforme a representação na Figura 11.

Figura 11 - Fluxograma do procedimento experimental



Fonte: A Autora (2020).

A Fase 1 ocorreu durante as aulas da disciplina de “Métodos de Apoio a Decisão Multicritério”. Nesta fase, cada participante era responsável por modelar um problema de decisão multicritério em um contexto de particular interesse, sem a imposição de quaisquer tipos de restrições. Assim, foi requerido a cada participante: a descrição do problema de decisão, a identificação dos atores, a identificação dos critérios e alternativas e a elaboração da matriz de consequências. Esses dados eram recebidos previamente à Fase 2, isto pois se fazia necessário à sua importação para o SAD em uso.

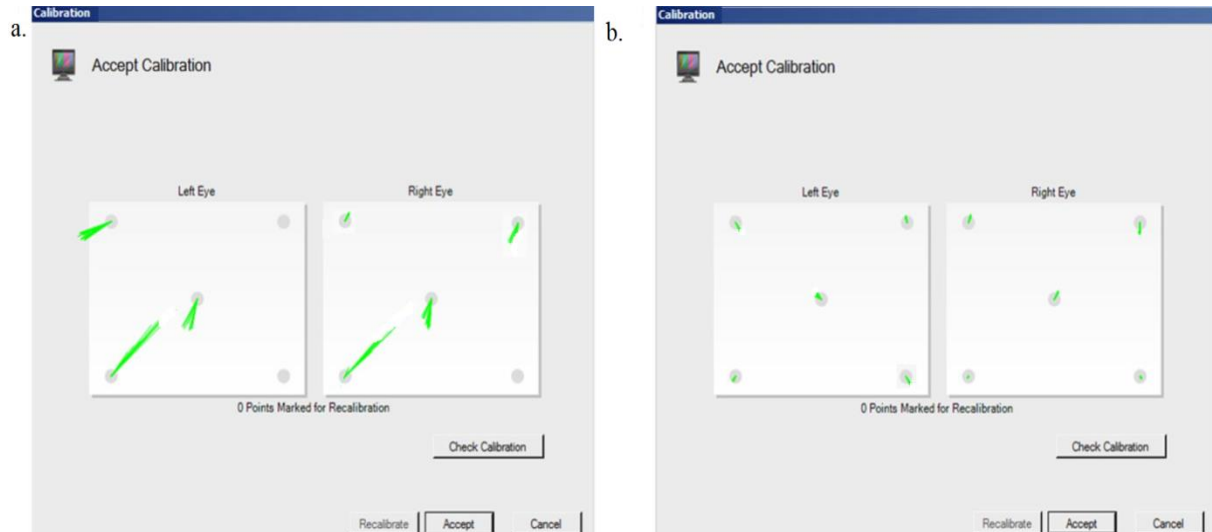
A Fase 2 representa a captura dos dados comportamentais dos participantes durante a elicitación das suas preferências sob o problema de decisão com o uso de equipamentos de neurociência. Cada participante recrutado foi alocado individualmente em um horário no qual pudesse comparecer ao laboratório NSID/UFPE. Em média, foi reservado o tempo de 90 min por participante. No dia do experimento, uma série de recomendações necessitava ser transmitida ao participante para a sua correta preparação ao experimento. Incluía uma revisão da abordagem *tradeoff* alinhada à apresentação do *design* dos respectivos estímulos e uma breve explanação sobre os equipamentos de neurociência utilizados na pesquisa. Ademais, neste momento também eram reveladas algumas recomendações aos participantes, para evitar a geração de dados interferentes, tais como: evitar movimentos bruscos, evitar movimentar os membros superiores e inferiores desnecessariamente, e manter o direcionamento do foco da visão a tela no computador.

Em seguida, solicitava-se ao participante que se sentasse confortavelmente na cadeira em frente ao monitor (1920 x 1080 *pixels*) no qual os estímulos seriam apresentados, sendo mensurada uma distância média de 70 cm. Essa distância tem como parâmetro a tela do monitor do computador e a altura dos olhos do participante. Nesse momento, o EEG também necessita ser disposto no escalpo do participante.

Posteriormente, os procedimentos de calibração dos equipamentos de neurociência eram executados com o intuito de garantir a captura de dados em melhor qualidade. Para o *eye-tracker* foi realizada uma calibração de 5 pontos fornecida pelo próprio *software* da Tobii Studio. Neste procedimento um círculo preenchido na cor vermelha realiza movimentos em volta da borda do campo de visão, que cabe ao participante acompanhar, apenas com o olhar, os movimentos. Exemplificando, pode-se considerar a Figura 12, na qual a situação “a” representa a calibração inadequada devido à grande quantidade de desvios (representados pelos feixes na cor verde), enquanto a situação “b” representa uma calibração em situação aceitável (verifica-se que os pontos de calibração estão direcionados ao centro das

marcações). Nas situações de calibração inadequada, um ou mais pontos poderiam ser(em) selecionado(s) para um novo procedimento de calibração.

Figura 12 - Representação da calibração do *eye-tracker*



Fonte: A Autora (2020).

Para a calibração do EEG verifica-se o nível de captura em cada um dos 14 eletrodos através de uma interface de monitoramento disponível pela Emotiv EPOC®. Nessa calibração cada um dos eletrodos apresenta-se com uma marca de referência por cor, podendo ser: verde (captura boa), amarelo (captura regular), vermelho (captura ruim), e preto (ausência de captura). É recomendável que todos os 14 eletrodos estejam apresentando uma marcação verde. Para simplificar a leitura do arquivo de dados provenientes do EEG utiliza-se um *software* conhecido como *OpenVibe*, versão 2.2.0 que permite a gravação dos dados em arquivo de extensão GDF.

É importante salientar que esses equipamentos (*eye-tracker* e EEG) precisam ser integrados para que os dados possam ser analisados de forma conjunta e correlacionada. Para ter esse mecanismo foi utilizado um *software* desenvolvido pelo próprio NSID, denominado *Trigger*, permitindo uma sincronização temporal entre as duas bases de dados (oculares e neurais). Após todos esses passos de verificação e, em acordo com a disposição do participante, o experimento pode ser iniciado.

A Figura 13 representa o *layout* com a correta disposição do participante e dos equipamentos de neurociência. É importante destacar que a sala do laboratório possui atenuação acústica, e controle de temperatura e de iluminação. É possível perceber os dois

equipamentos de neurociência utilizados, o *eye-tracker* da Tobii® e o *neuroheadset* da Emotiv EPOC®, cujas características foram evidenciadas no Capítulo 2.

Figura 13 - Layout da sessão experimental



Fonte: A Autora (2020).

É importante pontuar que por ser um experimento comportamental e que requer mensuração de métricas psicofisiológicas, uma série de recomendações eram transmitidas ao participante antes do dia do experimento. Dentre as recomendações destaca-se a importância de apresentar no dia agendado para a realização do experimento com os cabelos limpos e secos, evitar a utilização de maquiagens nas regiões dos olhos, e ter tido noite de sono sereno. Considerando que as condições físicas e ambientais podem ser tidas como fatores interferentes nos resultados do experimento, uma série de questionamentos necessitava ser pontuada para cada participante, sendo:

- Confirmação ou não se o participante teve noite de sono sereno;
- Classificação do estado do participante quanto ao seu nível de cansaço;
- Pontuar se o participante fez uso de medicamentos, especialmente no dia da sessão experimental. Em caso positivo, fez-se necessário quantificar há quanto tempo havia sido a ingestão medicamentosa;
- Pontuar o tempo que o participante havia se alimentado pela última vez;

- Pontuar se o participante fez a ingestão de substâncias potencialmente interferentes, especialmente nas métricas pupilométricas, como café ou chocolate;
- Pontuar se o participante apresenta algum problema congênito de visão, ou mesmo se faz uso de lentes corretivas;
- Pontuar se o participante apresenta algum distúrbio de natureza mental.

Esses questionamentos apresentam o propósito de fornecer subsídios para caso os dados de algum participante, no momento do processamento ou mesmo na análise dos resultados, esteja apresentando uma perspectiva de *outlier*. O questionário completo aplicado está apresentado no Apêndice B. Assim, é possível verificar se há fatores justificáveis presentes para esses possíveis desvios. Consequentemente, essas informações podem auxiliar na decisão de exclusão dos dados de certos participantes da amostra a ser considerada para a análise. Ademais, esses questionamentos permitem garantir uniformidade nas amostras no que dizem as condições biológicas dos participantes.

Os experimentos exigiram plataformas computacionais para auxiliar a execução do protocolo do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências (ou seja, reproduzir os estímulos), na forma de SAD. Essa plataforma foi desenvolvida pelo laboratório do Centro de Sistemas de Decisão e Desenvolvimento da Informação (CDSID) da UFPE. No caso do primeiro experimento foi adaptada uma versão preexistente de SAD, fazendo-se os devidos ajustes com relação as necessidades experimentais. No caso do segundo experimento houve o desenvolvimento de um SAD específico, obedecendo as especificidades dos equipamentos e *softwares* de neurociência. Os respectivos *designs* dos SADs são apresentados na seção de cada experimento.

3.2.1 Atividades exigidas na execução do experimento

As atividades exigidas na Fase 2 do experimento consiste no próprio desenvolvimento do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências, em acordo com a fundamentação teórica descrita no tópico 2.2.4. Dessa forma, tem-se a reprodução da metodologia *tradeoff* via SAD. Ou seja, o SAD apenas operacionaliza e compila as preferências do decisor.

A interação participante-SAD é possível diante do dispositivo de entrada do *mouse*. O clique simples do *mouse* foi necessário para o desenvolvimento das etapas (ex. escolha da alternativa preferida). E diante a finalização de cada etapa, o participante tinha por necessidade dar um clique no botão “Go foward” (em português, avançar, tradução nossa) para que pudesse dar continuidade ao procedimento.

Ambos os SADs utilizados na pesquisa foram desenvolvidos em língua inglesa, mas esse fato não causou nenhum tipo de prejuízo ou interferência ao experimento. Isto, pois todo o passo a passo foi previamente demonstrado ao participante, e as dúvidas dirimidas, conforme apresenta a tarefa de instruções na Figura 11. E, para tranquilizar o participante, caso dúvidas surgissem no decorrer do experimento, elas podiam ser respondidas diante da presença do analista na sessão experimental, que consiste na figura da própria pesquisadora juntamente com outros discentes que compõem o NSID. Todos os discentes passaram por um prévio treinamento para que as informações e os procedimentos fossem executados de maneira homogênea.

Uma descrição das tarefas exigidas em cada etapa de ambos os experimentos está descrita ao longo dos parágrafos seguintes. A visualização das telas dos estímulos poderá ser observada nos próximos tópicos, por cada experimento. Como em cada experimento foi utilizado um software diferente para reproduzir as atividades de elicitación *tradeoff*, houve uma variação nos seus respectivos designs.

Etapa – Avaliação intracritério

Esta etapa faz presente apenas no Experimento II, conforme já mencionado, em razão da simplificação para determinação da função valor intracritério no Experimento I. Isto, pois no Experimento I, para todos os critérios e todos os participantes, foi atribuído previamente o comportamento linear a função valor.

No design deste estímulo, encontra-se no lado direito da tela um quadrante similar a um plano cartesiano onde será construído ponto a ponto o comportamento da função valor do critério a partir das preferências do decisor, via processo da bisseção. No lado oposto, em uma lista oculta, o conjunto de critérios do problema de decisão é apresentado, e o participante necessita selecionar um a um para a análise. O participante pode se sentir à vontade para escolher qual a ordem dos critérios que deseja processar suas preferências. Abaixo dessa lista, localiza-se a questão de escolha, que, condiz a atividade exigida nesta etapa. Essa questão de escolha refere-se a uma comparação entre duas hipóteses com valores e direção de preferência guiadas pelo tipo de critério. Além disso, uma seta simbólica busca representar a comparação (acréscimos e decréscimos) entre os valores que estão sendo analisados. E, como resposta o decisor deve selecionar uma das seguintes alternativas: “() Não”, “() Sim” ou “() Indiferente”, a qual determinará a variação das próximas questões e a modulação da função valor.

Conforme apresentado no Capítulo 2, para cada critério buscou-se determinar três pontos médios para a construção da respectiva função valor. Ou seja, ao decisor foi requerido determinar três pontos de indiferenças entre as comparações propostas. Visualizada a função valor para o primeiro critério trabalhado, deve-se selecionar um novo critério para promover a elicitación. O procedimento deve ser contínuo até extinguir a lista de critérios do problema de decisão.

Etapa – Ordenação dos critérios

Como estímulo, o participante visualiza um gráfico de barras na parte central superior da tela. Neste gráfico, cada coluna corresponde a um critério, sendo apresentado seus valores de melhor e pior graus de desempenho. Assim, é possível realizar uma inspeção visual comparativa entre os critérios. Abaixo deste gráfico há dois quadrantes, à esquerda os critérios são listados de acordo com a ordem de *input*, e à direita tem-se o espaço destinado a ser preenchido com a ordenação dos critérios.

Como atividade para esta etapa, os participantes precisam estabelecer uma ordem de preferência entre os critérios. Assim, utilizando-se de um clique do *mouse*, o participante selecionar o critério pretendido e com outro clique confirma a sua resposta, clicando no botão “*Confirm Choice*” (em português, “Confirmar escolha”, tradução nossa). Consequentemente, à direita da tela, vai sendo construído automaticamente a ordenação de preferências obedecendo a ordem do critério mais preferido para o critério menos preferido. É importante ressaltar que todos os critérios presentes no problema de decisão precisam ser alocados segundo a ordenação.

Etapa – Exploração do espaço consequência

Nesta etapa, os estímulos representam uma situação de comparação. Assim, na área esquerda da tela, dois gráficos de barras são apresentados correspondentes a Consequência 1 e Consequência 2, respectivamente. Os parâmetros para construção da análise seguem os fundamentos metodológicos apresentados no item 2.2.4.

Continuando a descrição do *design* do estímulo, tem-se que à direita da tela é apresentada a questão de escolha e suas opções de respostas, segundo a nossa tradução: “*Qual consequência oferece o melhor desempenho? () Consequência 1, () Consequência 2 ou () Indiferente?*”. O participante deve se sentir livre para escolher qualquer uma das opções de respostas. A primeira questão de escolha ao ser respondida possibilita, automaticamente, o surgimento de novas questões. O participante deve responder totalmente a sequência de

perguntas, cuja quantidade varia a depender do número de critérios presentes no problema de decisão.

Etapas – Obtenção das constantes de escala

Nesta etapa, o estímulo corresponde a uma comparação par-a-par entre as consequências. Similarmente na Etapa 3, à esquerda, dois gráficos de barras são apresentados: a Consequência 1 e Consequência 2, respectivamente. Ao lado direito da tela, apresenta-se a questão de escolha e suas respectivas opções de respostas, tradução nossa: “*Qual consequência oferece o melhor desempenho? () Consequência 1, () Consequência 2 ou () Indiferente?*”. O participante também deve se sentir livre para escolher qualquer uma das opções de respostas.

A comparação continua até que o ponto de indiferença seja identificado (isto é, até o momento em que o participante declarar que não apresenta uma preferência para as consequências sob análise). Nesse momento, a equação de preferência é modelada e disposta para visibilidade do participante. Assim, uma nova comparação é estabelecida, automaticamente, com o conjunto de critérios obedecendo aos procedimentos metodológicos apresentados no Capítulo 2. Esta etapa é finalizada diante da determinação das equações de avaliação das preferências para todos os critérios.

Etapas – Verificação de inconsistência

Nesta etapa, as constantes de escala dos critérios são verificadas de acordo com as inequações obtidas na etapa anterior, de modo a identificar se o decisor modificou suas preferências ao longo do procedimento de elicitación. Como estímulo, à esquerda da área da tela, dois gráficos de barras mostram os pares de consequências na qual os critérios foram conflitantes. No lado direito, a pergunta de escolha é apresentada, sendo, segundo tradução nossa:

“Existem inconsistências. O que você deseja fazer?”

- () Opção 1: modificar a direção de preferência;*
- () Opção 2: refazer o processo de elicitación;*
- () Opção 3: continuar o processo com a inconsistência”.*

O participante precisa escolher uma opção dentre as três opções para continuar o procedimento. A resolução dessa etapa variou a depender do experimento. No Experimento I,

caso o problema de decisão apresentasse mais de uma situação de inconsistência, elas se apresentavam individualmente e em sequência, permitindo inclusive o participante optar por respostas diferentes a cada caso. No Experimento II, em caso de mais de uma situação de inconsistência houve a apresentação das situações em conjunto, de modo que o participante ao escolher uma das opções estaria aplicando a resposta para todos os casos.

É importante pontuar que esta etapa se fez presente apenas nos casos em que as inconsistências foram geradas. Nos casos de ausência, a etapa de análise dos resultados aparecia imediatamente após a obtenção das constantes de escala.

Etapa – Análise dos resultados

Corresponde a última etapa da sessão experimental para ambos os experimentos. O estímulo consiste em apresentar uma tabela ao centro da tela, contendo a ordenação das alternativas (da melhor para a pior alternativa) com os respectivos valores globais, e a identificação dos valores das constantes de escala para todos os critérios, normalizados em uma escala de 0 a 1. Assim, os participantes têm a oportunidade de analisar os resultados da elicitação obtidos via procedimento *tradeoff*.

O *design* do experimento é um fator importante, pois seus atributos precisam ser estabelecidos para que não interfira no comportamento do participante (entenda-se como decisor). Os dados obtidos pelos equipamentos de neurociência diante da realização destas tarefas do experimento precisam passar por um processamento antes da análise dos resultados. Maiores informações sobre esses procedimentos são apresentadas no tópico a seguir.

3.2.2 Processamento de dados

Todos os participantes finalizaram com sucesso as atividades experimentais, em ambos os experimentos. Dois tipos de dados foram obtidos diante da realização dos experimentos, sejam eles dados oculares e dados neurais. Dentre eles, o *eye-tracker* da Tobii Studio® forneceu informações do rastreamento ocular. Esses dados, inicialmente, foram submetidos a um processamento de limpeza baseado em interpolação ($\sigma \pm 3$) pelo suplemento em Excel do *Visual Basic for Application* (VBA) para remover artefatos devido ao excesso de piscadas e dos movimentos oculares (ou seja, que não correspondem nem a sacadas nem a fixações). Nesse processo, os dados pupilares também foram reduzidos de 120 Hz a 5 Hz, obtendo uma janela de tempo de 200 ms, seguida da correção pela *baseline* (-500 ms – 2000 ms) para cada *trial* por participante. No caso desta pesquisa, cada *trial* consiste justamente no *epoch* de cada etapa do procedimento de elicitação. Esses *epochs* correspondem aos

momentos da gravação que serão analisados, no caso desta pesquisa, apenas os períodos de realização de cada etapa do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferência. Ou seja, cada etapa do procedimento correspondeu a um *epoch*.

Explanando, tem-se que um conceito de *baseline* consiste no estado de repouso, sendo medidos alguns segundos ou alguns minutos antes de iniciar uma sessão experimental (AMINIHAJIBASHI *et al.*, 2019). Esse intervalo referido no parágrafo anterior foi obtido por ser um tempo médio que os participantes denotavam estabilidade de suas respostas oculares antes da apresentação dos estímulos. Diversos testes de tentativas e erros foram necessários para que os valores ideais fossem empreendidos. A correção da *baseline* consiste na subtração do valor da linha de base aos *trials* em cada etapa experimental.

Ainda considerando os dados obtidos pelo *eye-tracker*, para explorar as métricas de fixação, AOI foram identificadas para cada estímulo por etapa do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências. As AOIs incluíram os elementos dos estímulos dos gráficos e questão de escolha, pois esses são os elementos que denotam interesse para avaliação do comportamento do decisor.

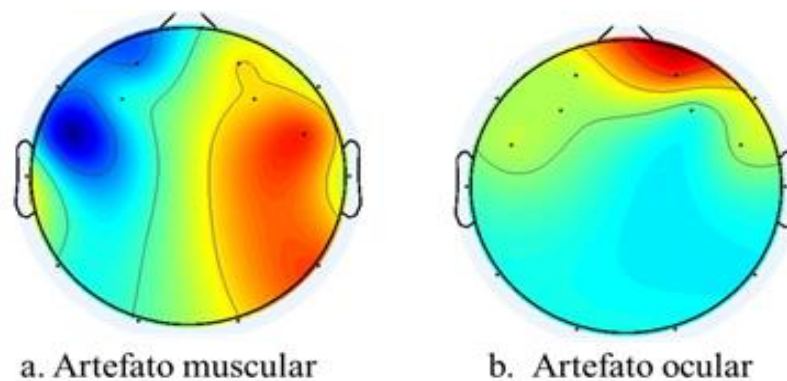
A outra fonte de dados relaciona-se as atividades potenciais elétricas do córtex cerebrais obtidos a partir de um *neuroheadset* EEG de 14 canais da EMOTIV EPOC®. O pré-processamento dos dados foi realizado usando a caixa de ferramentas do EEGLAB (DELORME; MAKEIG, 2004) habilitado para o *software* da MATLAB 2016b (*The Mathworks Inc., Natwick, MA*).

Esse pré-processamento subdivide-se em algumas etapas, que devem ser adotadas sequencialmente: re-referência com base na atividade média calculada ao longo dos eletrodos, filtragem dos dados (0,1 e 40 Hz), correção dos artefatos usando o método da remoção dos componentes independentes (do inglês *Independent Component Analysis*, ICA) com suporte do mecanismo do SASICA (do inglês *SemiAutomatic Selection of Independent Components for Artifact correction*) e correção visual dos dados. Posteriormente, os *slots* dos *epochs* de interesse foram extraídos, sendo realizada uma análise espectral usando uma Transformada Rápida de Fourier (em inglês, *Fast Fourier Transform*, FFT). Subdivisões desses *epochs* em menores conjuntos de dados podem ser realizadas a depender da necessidade de análise. Um exemplo consiste que no Estudo 3, visto que o *epoch* da etapa de obtenção das constantes de escala foi subdividido por cada questão de escolha, tendo em vista subsidiar a análise pretendida.

Explanando, os artefatos consistem nos dados capturados pelo EEG, mas não necessariamente correspondem as atividades elétricas neurais de interesse. Em geral, dois

tipos de artefatos frequentemente presentes e identificados pelo algoritmo do ICA satisfazem aos componentes de origem muscular, geralmente ativados por movimentos como mordida ou deglutição, conforme a Figura 14a, e os componentes artefatuosos de origem ocular, ativados pela própria movimentação dos olhos ou mesmo pelas piscadas, conforme a Figura 14b. Artefatos dessa natureza precisam ser identificados e removidos dos *epochs* de análises, visto que sua presença tende a destoar e a mascarar os reais resultados comportamentais a serem analisados. Em geral, os componentes identificados diante do ICA são independentes temporalmente e também funcionam de maneira independente. Assim, ressalta-se a importância da análise ICA a identificação de artefatos provenientes de EEG e, conseqüentemente tornar os dados neurais “limpos”.

Figura 14 - Exemplificação de componentes artefatuosos



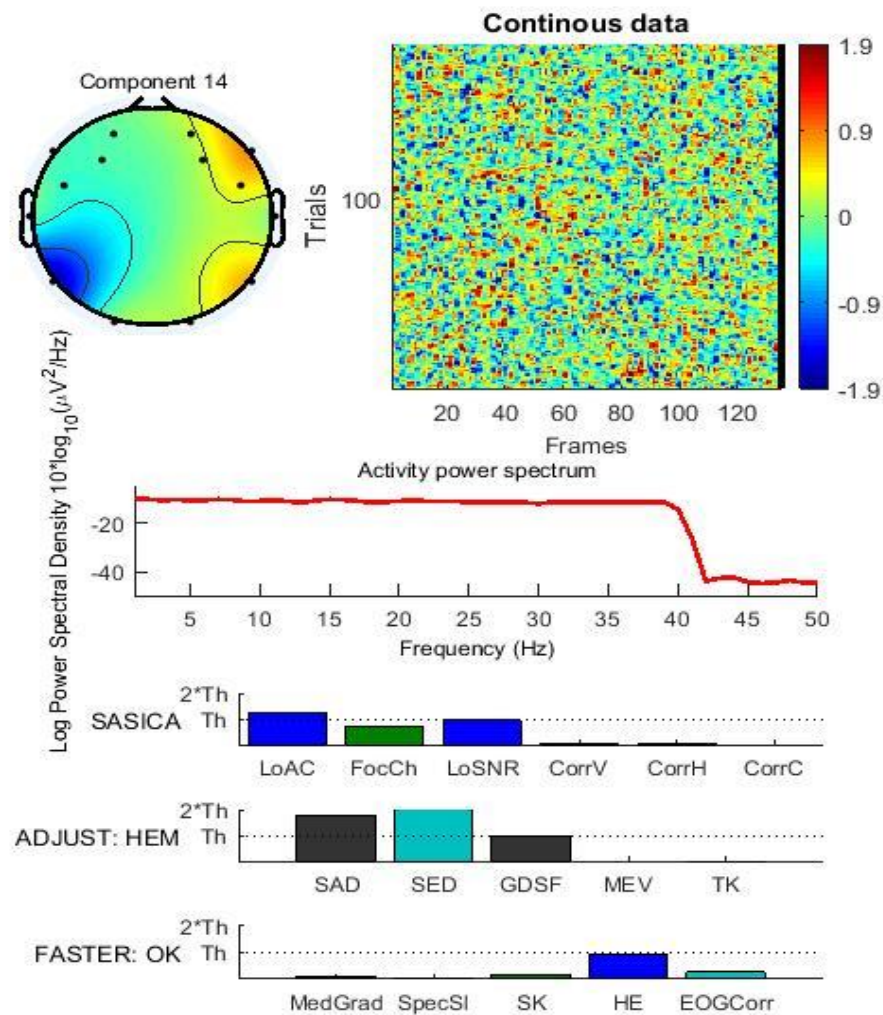
Fonte: A Autora (2020).

Por sua vez, o SASICA fornece uma série de parâmetros que auxiliam na identificação dos componentes artefatuosos durante o processamento do ICA. Considerando que o EEG utilizado nesta pesquisa apresenta 14 canais, conseqüentemente, 14 componentes são identificados. A Figura 15 consiste na aglutinação dos parâmetros fornecidos para cada componente além da representação topográfica e espectral. O SASICA confere dois tipos de testes, o “*adjust*” que consiste em parâmetros de testes mais robustos, e o “*faster*” que consiste em parâmetros de testes mais frouxos. Uma completa descrição de cada um dos parâmetros dispostos no SASICA está disponível em Chaumon, Bishop e Busch (2015).

É importante ressaltar que por mais que exista mecanismos facilitadores da análise ICA, tal como o SASICA (ver Figura 15), esta análise depende fundamentalmente da expertise do analista. Pois é sutil a diferenciação entre um dado neural e um dado não neural. Em vista a evitar diferenças nas análises, um único analista foi definido para tratar

completamente os dados do EEG por experimento, diferentemente do processamento dos dados provenientes do *eye-tracker*, cujo procedimento tem características essencialmente operacionais.

Figura 15 - Parâmetros de análise do SASICA



Fonte: A Autora (2020).

Exemplificando, tem-se que o componente 14 apresentado na Figura 15 possui uma configuração de artefato devido a canal ruim. Portanto, é um componente a ser rejeitado. As indicações que levam a essa conclusão condizem ao conjunto da representação topográfica, o comportamento basicamente linear e de polo único da série temporal do espectro de atividade do componente, neste caso negativo. Com relação aos parâmetros tem-se que considerar o índice de topografia focal do canal (em inglês *Focal Channel Topography*, FocCh) e o índice

da descontinuidade espacial genérica (do inglês *Generic Discontinuity Spatial Feature*, GDSF).

É importante pontuar que a análise ICA pode ser realizada mais de uma vez para o mesmo *epoch*. Isso depende da qualidade dos dados coletados, ou seja, se o dado apresenta uma quantidade demasiada de artefatos na qual um único processamento ICA não foi suficiente para eliminar os dados indevidos. A decisão da necessidade de uma nova análise ICA depende da *expertise* do pesquisador. Pois, utilizando seu *know-how* consegue identificar, seja por representação topográfica e/ou análise visual da atividade elétrica cerebral, a remanescente presença de artefatos.

Em termos de amostras consideradas válidas para a análise e obtenção dos resultados após o processamento dos dados para ambos os experimentos, considera-se:

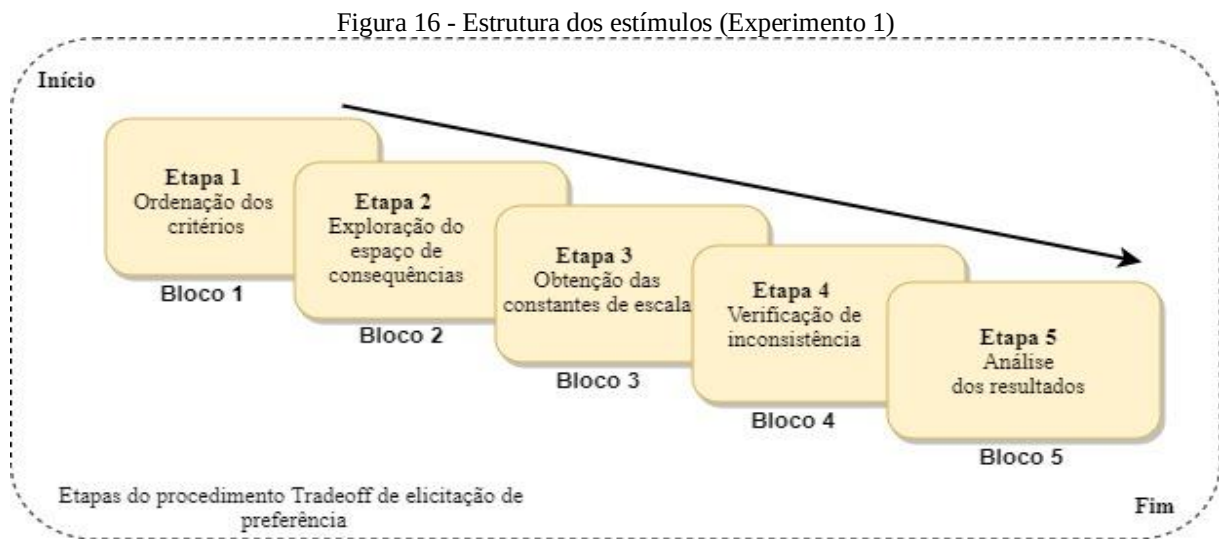
- Estudo 1 – os dados dos participantes com tempos de resposta de $\pm 3 \sigma$ em relação à média foram excluídos, ou seja, 9,8% ($n = 6$) e mais 14,7% ($n = 9$) foram excluídos pelo processamento dos dados. A amostra final consistiu em 46 participantes, sendo 20 do sexo feminino e 26 do sexo masculino, e tendo as mensurações de, $\bar{x} = 24,95$; $\sigma = 5,86$; *intervalo* = 18 – 40 anos.
- Estudo 2 – a amostra válida consistiu de 32 gravações. Essa amostra foi composta por 19 indivíduos do sexo masculino e 13 indivíduos do sexo feminino, sendo 18 estudantes de graduação e 14 de pós-graduação, e a idade média foi de 23 anos. A amostra foi menor que a do Estudo 1, pois como este estudo combina as métricas provenientes do *eye-tracker* e do EEG, durante o processamento dos dados cerebrais alguns indivíduos da amostra anterior tiveram que ser descartados diante da qualidade dos dados.
- Estudo 3 e Estudo 4 – A amostra final consistiu em 66 participantes, sendo 28 do sexo feminino e 38 do sexo masculino, e tendo as mensurações de, $\bar{x} = 25,15$; $\sigma = 5,12$; *intervalo* = 18 – 41 anos.

As análises estatísticas sobre as respostas pupilares e os dados provenientes do EEG receberam o suporte da ferramenta do R Studio (versão 1.2.1091).

3.3 EXPERIMENTO I

Este experimento busca investigar adquirir informações acerca do nível cognitivo do decisor durante a realização do procedimento *tradeoff*. Particularmente, na etapa de

determinação da função valor dos critérios no procedimento de elicitación houve uma simplificação, tendo uma pré-classificação de todo o conjunto de critérios como linear, para todos os participantes. Consequentemente, essa etapa foi ocultada, e, portanto, o procedimento foi iniciado a partir da determinação da ordenação dos critérios por nível de preferência. Assim, este experimento consistiu num conjunto de cinco blocos de atividades, conforme a Figura 16, em acordo com os fundamentos metodológicos do procedimento *tradeoff* apresentado no Capítulo 2.



Fonte: A Autora (2020).

Para ilustrar o *design* dos estímulos deste experimento um problema de decisão multicritério será descrito. O caso trata da seleção de fornecedor de *pellets* de ferro para uma siderúrgica. Cinco fornecedores constituem as alternativas, e como conjunto de critérios foram elencados quatro aspectos, sendo: preço, qualidade, taxa de confiabilidade e tempo de entrega, conforme a matriz de consequências apresentada na Tabela 3

Tabela 3 - Modelo da matriz de consequência (Experimento I)

Critérios	Preço	Qualidade	Taxa de confiabilidade	Tempo de entrega
Descrição	Custo da matéria-prima [R\$/tonelada]	Nível de qualidade do produto [Nível de satisfação]	Probabilidade de que o fornecedor cumpra as especificações e requisitos da compra [Porcentagem]	Tempo requerido para a entrega da matéria-prima [Número de dias]
Direção de preferência	Decrescente	Crescente	Crescente	Decrescente
Escala	Monetária	Verbal	Numérica	Numérica
Fornecedor 1	105,00	3	0,5	20
Fornecedor 2	118,50	2	0,4	18
Fornecedor 3	115,50	5	1,0	25
Fornecedor 4	133,00	4	0,6	14
Fornecedor 5	120,00	5	1,0	19

Fonte: A Autora (2020).

Na matriz de consequências, o aspecto da direção de preferência corresponde ao sentido de crescimento em termos de importância para o critério, podendo ser crescente ou decrescente. Se for crescente, quanto maior o valor, melhor a *performance*; e decrescente em caso contrário. Nesse problema de decisão, o critério "qualidade" apresenta natureza qualitativa, e como forma de mensuração foi estabelecido o uso de escala verbal de cinco pontos (1 correspondendo a desempenho muito ruim e 5 correspondendo a desempenho excelente). Os demais critérios foram analisados quantitativamente, variando apenas a escala métrica. Exemplificando, preço é representado por uma escala de valor monetário; taxa de confiabilidade é representada em valores percentuais e, o tempo de entrega é representado em número de dias.

Conforme mencionado, pelo fato de considerar a função valor como linear para todos os critérios, a primeira interação do participante é para a determinação de uma ordem de preferência entre os critérios. Neste caso, a ordem estabelecida pelo decisor correspondeu a: $[k_1(\text{preço}) > k_2(\text{qualidade}) > k_3(\text{tempo de entrega}) > k_4(\text{taxa de confiabilidade})]$. O respectivo *design* dessa etapa está representado pela Figura 17.

Figura 17 - Design do estímulo da Etapa 1 (Experimento I)

CDSID UFPE
CENTER FOR DECISION SYSTEMS AND INFORMATION DEVELOPMENT

Elicitation for Tradeoff Additive Model with Non Linear Value Function and Sensitivity Analysis (Web-Based)

Sign Out

Step 1 - Criteria Ranking

Consider a hypothetical alternative, with the worst performance in all criteria, and suppose you have to choose it:

Consequence of hypothetical alternative

Best	105 (Monetary scale)	5 (Verbal scale)	1 (Numeric scale)	14 (Numeric scale)
Worst	133 (Monetary scale)	2 (Verbal scale)	0.4 (Numeric scale)	25 (Numeric scale)
	Preço	Qualidade	Taxa de confiabilidade	Tempo de entrega

Now suppose that you can improve the performance of this alternative in only ONE of the criteria to the maximum value, which criteria would you choose?

* You can see the value of each criterion by selecting it. Then, you should choose one of them and confirm the choice

After the choice of one of the criteria, disregard that criterion and continue answering the question for the other criteria. The system will indicate when all the criteria have been evaluated along the procedure.

Visualize this criterion with maximum performance:

Criteria ranking:

☐ Preço
☐ Qualidade
☐ Tempo de entrega
☐ Taxa de confiabilidade

>>Confirm Choice>>

Restart this Procedure

<< Problem's page

Go Forward >>

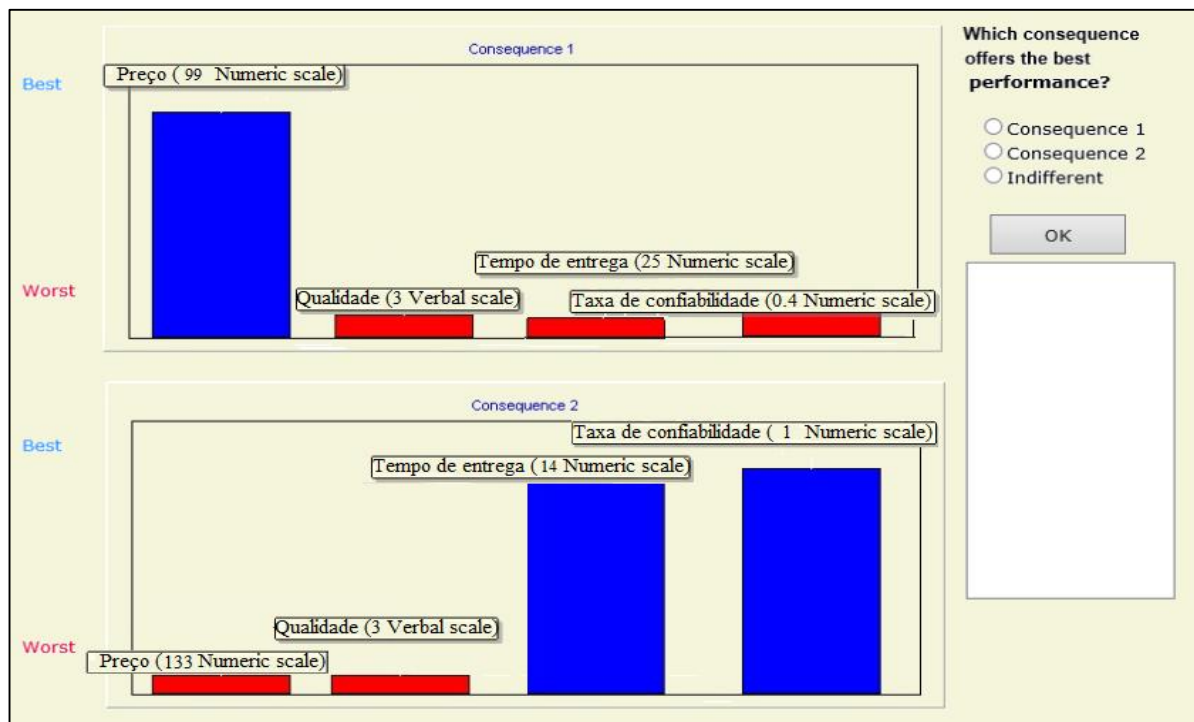
Federal University of Pernambuco | CTG | Department of Production Engineering
 Phone: (+55) 81 2126.8728 ext.229 / Fax: (+55) 81 2126.8728 ext.4
 E-mail: app@cdisid.org.br

TU-T2OMO-WT1

Fonte: SAD tradeoff (2020).

A Etapa 2 corresponde a exploração do espaço de decisão e foi composto por duas situações de comparação para o caso ilustrado. A primeira comparação apresentada foi: Consequência 1 com *performance* R\$ 99,00 em Preço *versus* Consequência 2 com a combinação das *performances* 14 em Tempo de entrega e 1 em Taxa de confiabilidade (ver Figura 18). Para essa comparação, o participante optou pela Consequência 1. Assim, a inequação $k_1 > k_3 + k_4$ foi gerada. A segunda comparação apresentada foi: Consequência 1 com *performance* 5 em Qualidade *versus* Consequência 2 com a combinação das *performances* 14 em Tempo de entrega e 1 em Taxa de confiabilidade. Para essa comparação, o participante também optou pela Consequência 1, gerando a inequação $k_2 < k_3 + k_4$. Nesse exemplo, em razão da quantidade de critérios a possibilitar as comparações, em ambas as situações a Consequência 2 apresentou a mesma configuração.

Figura 18 - Design do estímulo da Etapa 2 (Experimento I)



Fonte: SAD tradeoff (2020).

Em relação à Etapa 3 (ver Figura 19), o primeiro par de critérios avaliado foi preço com *performance* de R\$ 117,00 *versus* taxa de confiabilidade com *performance* 1. O participante optou pela Consequência 1. Dessa maneira, na segunda situação de comparação o preço sofreu um ajuste para R\$ 121,67, e como se conhece, a Consequência 2 permanece fixa, ou seja, apresenta a taxa de confiabilidade com *performance* 1. O participante novamente

optou pela Consequência 1. As interações foram contínuas, sendo necessários neste caso, 13 *trials* (interações) para que todos os critérios detivessem identificados os seus respectivos pontos de indiferenças. Um aspecto importante a se ressaltar é que não há limites nem quantidades desejáveis, seja mínimo ou máximo, para a quantidade de interações que o participante deseja realizar.

Figura 19 - Design do estímulo da Etapa 3 (Experimento I)

CDSID UFPE
CENTER FOR DECISION SYSTEMS AND INFORMATION DEVELOPMENT

Elicitation for Tradeoff Additive Model with Non Linear Value Function and Sensitivity Analysis (Web-Based)

Sign Out

Step 3 - Obtaining the Scale Constants
The step 2 of the elicitation process consists in a sequence of questions about preferences. This step's purpose is to settle consequences which create a scenario of indifference. Please, answer the following question for each pair of consequences showed:

Consequence 1

Best: Preço (117 Numeric scale)

Worst: Tempo de entrega (25 Numeric scale), Qualidade (3 Verbal scale), Taxa de confiabilidade (0.4 Numeric scale)

Consequence 2

Best: Taxa de confiabilidade (1 Numeric scale)

Worst: Preço (133 Numeric scale), Qualidade (3 Verbal scale), Tempo de entrega (25 Numeric scale)

Which consequence offers the best performance?

☐ Consequence 1
☐ Consequence 2
☐ Indifferent

OK

Calculate Result

If desired, you can directly enter the value of the evaluation criteria outlined in consequence 1, where there a relation of indifference between the two consequences shown above.

<< Problem's page OK Restart this procedure

Federal University of Pernambuco | CTG | Department of Production Engineering
Phone: (+55) 81 2126.8728 ext.229 / Fax: (+55) 81 2126.8728 ext.4
E-mail: app@cdsid.org.br

TU-T2OMO-WT1

Fonte: SAD tradeoff (2020).

A decisão sob-representação gerou uma inconsistência no par de critérios 1 (Preço, R\$ 99,00 *versus* Tempo de entrega, 14 + Taxa de confiabilidade, 1), conforme a apresentação na Figura 20. Como indicado pelo numeral “1” percebe-se que se trata da primeira questão de

escolha proveniente da Etapa 2. Ao ser questionado sobre qual escolha deseja realizar, o participante decidiu pela “Opção 1”, ou seja, aceitou a mudança da direção de preferência em conformidade com a recomendação do SAD, na qual transformava a Consequência 1 como mais preferida em relação a Consequência 2.

Figura 20 - Design do estímulo da Etapa 4 (Experimento I)

CDSID UFPE
CENTER FOR DECISION SYSTEMS AND INFORMATION DEVELOPMENT

Elicitation for Tradeoff Additive Model with Non Linear Value Function and Sensitivity Analysis (Web-Based)

Sign Out

Step 4 - Checking the inconsistency

There are inconsistencies in your answers!

There are maybe some inconsistencies in the pair of consequences number: **1**
What do you want to do?

☐ Option 1
☐ Option 2
☐ Option 3

*** Option 1:**

Consequence 1

Preço (99 Numeric scale)

Qualidade (3 Verbal scale)

Taxa de confiabilidade (0.4)

Tempo de entrega (25 Numeric scale)

Consequence 2

Tempo de entrega (14 Numeric scale)

Taxa de confiabilidade (1)

Preço (133 Numeric scale)

Qualidade (3 Verbal Scale)

In the last step you answered that Consequence 1 was less preferred than Consequence 2.
Now, you can change your preferences, so that: Consequence 1 should be more preferred than Consequence 2.

*** Option 2:**

You can repeat the Step 4 to review your answers in the Scale Constants' Elicitation Process.
(The results will be re-calculated, then new inconsistencies might appear).

*** Option 3:**

Continue the process with this inconsistency.

Fonte: SAD tradeoff (2020).

Diante da elicitação das preferências, os resultados da decisão para o referido problema foram obtidos em conformidade com a Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do procedimento *tradeoff* para o problema de seleção de fornecedor

Alternativas	Valor global	Crítérios	Constantes de escala
Fornecedor 1	0,897280	Preço	0,546069
Fornecedor 5	0,704984	Qualidade	0,276819
Fornecedor 2	0,701823	Tempo de entrega	0,136517
Fornecedor 3	0,672276	Taxa de confiabilidade	0,040595
Fornecedor 4	0,313946		

Fonte: SAD tradeoff (2020).

Diante da Tabela 4, tem-se que o Fornecedor 1 foi a alternativa preferida, sendo a melhor classificada. O critério preço correspondeu ao atributo com maior grau de influência no problema de decisão, em contraste ao critério da taxa de confiabilidade.

Duas vertentes de estudos foram estabelecidas para explorar os resultados desse Experimento I. No Estudo 1 tem-se a análise dos aspectos cognitivos, exclusivamente por meio dos dados pupilométricos, diante da variação na estrutura dos critérios nos problemas de decisão. No Estudo 2, tem-se a análise dos aspectos cognitivos do decisor, utilizando dados pupilométricos e de atividade elétrica do cérebro, diante da variação do tipo de critério presente no problema de decisão, especialmente considerando a variação em critérios financeiros e não financeiros; e o estudo das inconsistências. As hipóteses de pesquisas e os resultados de cada estudo são apresentados nos tópicos a seguir.

3.3.1 Estudo 1

Compreender a construção de preferências é um aspecto essencial para alcançar com maior nível de satisfação os objetivos do processo de tomada de decisão (RADCLIFF *et al.*, 2018). Na modelagem de preferências o decisor expõe seus anseios e busca maximizar as *performances* das alternativas de decisão diante de um conjunto de atributos potencialmente conflitante. Portanto, o esforço cognitivo é uma questão importante a ser averiguada dado ser um constructo difícil de definir e operacionalizar (DUM; RISK, 2019).

O Estudo 1 propõe conhecer o nível cognitivo do decisor durante o procedimento *tradeoff* de eliciação de preferências diante de variações na estrutura dos critérios do problema de decisão. Portanto, serão considerados como fatores o número e a natureza (quantitativa e qualitativa) dos critérios. Uma análise suplementar sobre o tempo resposta está compreendida no estudo. Esse tópico subdivide-se em: hipóteses de pesquisa, resultados e discussão.

3.3.1.1 Hipóteses de pesquisa

As medições de preferência enfrentam o problema da complexidade, visto que um número cada vez maior de atributos precisa ser considerado para se tomar uma decisão (SCHLERETH *et al.*, 2014). Como um dos prováveis fatores associados a essa complexidade pode-se citar o tamanho do problema de decisão. Problemas maiores exigirão um acréscimo seja no tempo de resolução ou no volume de informação disponível e necessário, bem como um aumento no total do esforço físico e mental do decisor para a sua resolução.

Ao ter como base o procedimento *tradeoff* de eliciação de preferências, Weber e Borchering (1993) propõem que o elevado número de critérios repercute em maior quantidade de questões de escolha. E, conseqüentemente, este fato pode proporcionar uma sobrecarga cognitiva diante da larga quantidade de atividade que passa a ser requerida ao decisor. Nessa perspectiva, foi proposta a hipótese (H_1) do estudo, em que o nível de esforço cognitivo do decisor está diretamente atrelado ao número de critérios presente no problema de decisão.

H_0 – Problemas de decisão multicritério com grande ou pequeno número de critérios requerem semelhante esforço do durante o procedimento tradeoff de eliciação de preferência.

H_1 – Problemas de decisão multicritério com um grande número de critérios requerem maior esforço cognitivo do decisor durante o procedimento tradeoff de eliciação de preferência (Cenário I).

Complementando, tem-se que existe uma diferença categórica nas predisposições mentais dos decisores quando estão submetidos entre tarefas simples *versus* tarefas complexas (VAN OPHEUSDEN; MA, 2019). Dessa forma, qual o grau de assertividade quanto ao senso comum que tratar de aspectos numéricos tornam as atividades complexas? E isso representaria maior nível de esforço cognitivo? Em termos da capacidade humana de tratar números, evidências substanciais sugerem que ela está atrelada as propriedades perceptivas do meio que se inter-relaciona (LEIBOVICH *et al.*, 2017). Muitos desses vieses estão associados aos naturais preconceitos com a manipulação de valores numéricos, e certa convalidação que as variáveis numéricas tendem a exigir maior nível de atenção e concentração.

Por conseguinte, o tipo de critério predominante no problema de decisão pode também ser um fator capaz de afetar o processamento cognitivo do decisor no desenvolvimento do procedimento *tradeoff* de eliciação de preferência. A natureza sob análise consiste na dicotomia entre qualitativo e quantitativo. Assim, a segunda hipótese (H_2) deste estudo foi construída, conforme abaixo descrita.

H_0 – Problemas de decisão multicritério que predominam critérios de natureza quantitativa ou qualitativa requerem semelhante esforço cognitivo do decisor no procedimento tradeoff de eliciação de preferência.

H₂ – Problemas de decisão multicritério que predominam critérios de natureza quantitativa requerem maior esforço cognitivo do decisor no procedimento tradeoff de eliciação de preferência (Cenário II).

De acordo com Dragone, Teso e Passerini (2018) um fator essencial ao processo de eliciação de preferências é fazer apenas as perguntas adequadas ao decisor, de modo a fomentar o aprendizado mediante aos *feedbacks* gerados. Nem perguntas a mais, visto que aumentaria sem necessidade o tempo de resolução do problema de decisão, nem perguntas a menos, pois informações importantes poderiam deixar de serem coletadas. Haja vista, o volume de questões a serem resolvidas estão atreladas a um outro fator, o de tempo resposta (do inglês *Response Time*, RT). Esse é um importante fator a ser considerado visto que, naturalmente, a mente humana reduz a capacidade de concentração para atividades morosas.

Dessa forma, este estudo também se ateve a análise do RT. As variações do RT numa condição experimental específica podem refletir mudanças significativas relacionadas à eficiência dos processos neurais e cognitivos. Para tanto, consideraram-se as segmentações dos dois cenários acima construídos, resultando na construção das hipóteses descritas (*H₃* e *H₄*).

H₀ – Problemas de decisão multicritério com estrutura variada dos critérios requerem semelhante tempo de resposta no procedimento tradeoff de eliciação de preferências.

H₃ – Problemas de decisão multicritério com um grande número de critérios requerem maior tempo de resposta no procedimento tradeoff de eliciação de preferências (Cenário III).

H₄ – Problemas de decisão multicritério que predominam critérios de natureza quantitativa requerem maior tempo de resposta no procedimento tradeoff de eliciação de preferências (Cenário III).

É importante relembrar que para as análises dos cenários propostos neste Estudo 1 apenas os dados provindos do *eye-tracker* foram considerados. Foram analisados os dados pupilométricos e a justificativa condiz a possibilitar trabalhar com uma amostra de dados maior, visto que como demonstrado no tópico 3.2.2, para a consideração integrada dos dados oculares e neurais o total da amostra sofre uma queda acentuada. E, outro fator condiz que os

dados neurais foram explorados no Estudo 2. Cada um dos cenários propostos registrou condições específicas para sua construção dos resultados, conforme descritas a seguir.

3.3.1.2 Resultados

De início, a Tabela 5 descreve as métricas oculares no que tange ao diâmetro médio e a dispersão dos valores da pupila, valores esses comuns e importantes para apreciação dos três cenários. A *baseline* também é evidenciada e, corresponde ao tamanho médio da pupila em estado de repouso antes do início de cada etapa do procedimento. Ao analisar os dados da Tabela 5 é notável uma tendência de crescimento na variação do diâmetro médio da pupila à medida que as etapas do procedimento *tradeoff* são desenvolvidas, conforme o esperado. Esse fato pode estar relacionado ao aumento da demanda cognitiva ao decisor e da dificuldade para resolução das tarefas.

Tabela 5 - Dados pupilares (Estudo I)

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5
<i>Baseline</i> (mm)	3,341	3,475	3,503	3,495	3,552
Diâmetro médio da pupila (mm)	3,410	3,554	3,599	3,577	3,666
σ Diâmetro médio da pupila (mm)	0,416	0,403	0,394	0,326	0,365
Média da amplitude da pupila (mm)	0,013	0,033	0,074	0,076	0,143

Fonte: A Autora (2020).

De acordo com a Tabela 5, a Etapa 4 (Verificação de inconsistências) apresentou menor variação do diâmetro da pupila, em relação as demais etapas. Esse fato pode correlacionar-se com o efeito duradouro para o processamento da notificação sobre uma mudança de preferência. Essa situação pode ser um indicativo para um estado de alerta do decisor.

Os resultados e as análises provenientes do Estudo 1 focalizam apenas três etapas do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências, sendo elas: Etapa 1 (Ordenação dos critérios), Etapa 3 (Obtenção das constantes de escala) e Etapa 5 (Análise dos resultados). A Etapa 2, não recebeu atenção neste estudo tendo em vista que seus resultados mostravam uma tenuidade com relação as métricas comportamentais do decisor. E, a Etapa 4 apresenta-se estudada em detalhes no Estudo 2, inclusive com a incorporação das análises baseadas em dados neurais. A partir desse momento são analisados os cenários propostos de modo a procurar validar, ou não, as respectivas hipóteses formuladas.

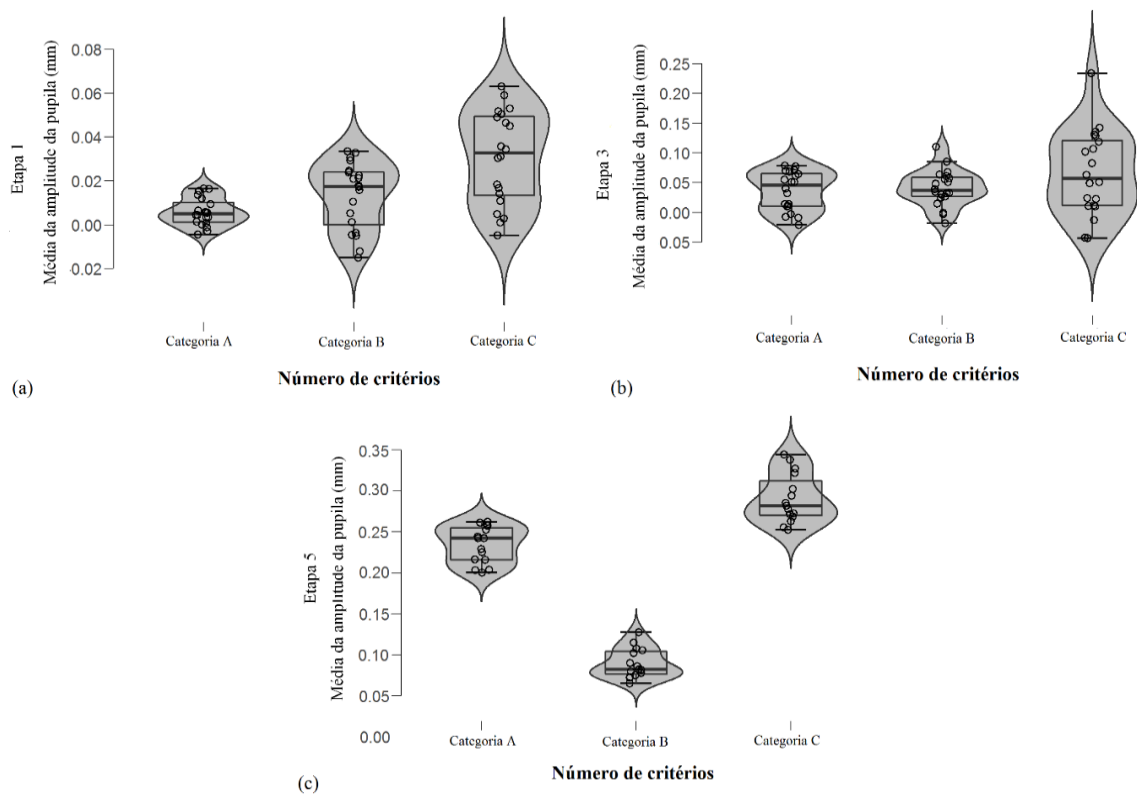
• Cenário I – Número de critérios

Esta análise busca avaliar possíveis alterações no esforço cognitivo do decisor durante o procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências, diante do número de critérios existente no problema de decisão. Os problemas de decisão da amostra ($n = 46$) enquadraram-se em um intervalo de no mínimo de três e no máximo de oito critérios. Uma classificação dos critérios foi proposta, considerando um intervalo de valores equidistantes, de modo que:

- Categoria A: problemas de decisão com três ou quatro critérios ($n_a = 14$ ou 30,4%);
- Categoria B: problemas de decisão com cinco ou seis critérios ($n_b = 24$ ou 52,1%);
- Categoria C: problemas de decisão com sete ou oito critérios ($n_c = 8$ ou 17,5%).

Inicialmente foi considerada a variação pupilométrica por categoria para cada etapa do procedimento de elicitação, conforme a representação na Figura 21.

Figura 21 - Variação da amplitude da pupila. a. Etapa 1. b. Etapa 3. c. Etapa 5



Fonte: A Autora (2020).

De acordo com a Figura 21 verificou-se que o diâmetro da pupila tende a aumentar progressivamente entre as categorias. Nesta representação, as barras horizontais correspondem ao valor mediano da amplitude da pupila. Essa perspectiva tende a estar refletindo o crescimento da alocação de recursos cognitivos necessários durante o processamento de informações de escolha. Essa assertiva deve-se ao fato de considerar a dilatação da pupila como um fator justificável ao estado mental indicador da atenção durante a execução de tarefas. E, um ponto a ser ressaltado consiste na modulação da atenção seletiva visual, especialmente importante em meios com um denso conjunto de informações a serem processadas.

Uma análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas e correção de Bonferroni foi realizada para verificar a existência de diferenças entre as etapas e as categorias (Tabela 6).

Tabela 6 - Resultados da ANOVA repetida com correção de Bonferroni ($\alpha=0,05$)

	Categoria A (3-4 critérios)	Categoria B (5-6 critérios)	Categoria C (7-8 critérios)
Etapa 1* Etapa 3	0,003	0,321	0,022
Etapa 1* Etapa 5	0,038	0,033	0,000
Etapa 3* Etapa 5	0,044	0,048	0,000

Fonte: A Autora (2020).

De acordo com a Tabela 6 apenas o par “Etapa 1 *versus* Etapa 3” para a Categoria B não apresentou diferença estatística significativa para o nível de confiança de 5% ($\alpha = 0,05$). Portanto, H_0 foi rejeitada apenas para a Categoria B quando analisada a Etapa 1 e a Etapa 3 do procedimento *tradeoff*. Enquanto, H_0 foi aceita para as demais comparações.

Outro ponto de análise compreende ao fato de que o crescente número de critérios, tende a proporcionar maior dispersão das respostas pupilares entre as etapas do procedimento de elicitación de preferências, conforme observado na Figura 21. Esse fato pode estar relacionado a altos picos de amplitude média, principalmente para problemas da Categoria C. Em termo da análise estatística descritiva, foi calculada a média pupilométrica em milímetros (mm), sendo:

- Categoria A ($\bar{x} = 3,601$; $\sigma = 0,3919$; $SE = 0,0087$);
- Categoria B ($\bar{x} = 3,494$; $\sigma = 0,0470$; $SE = 0,0105$);

- Categoria C ($\bar{x} = 3,705$; $\sigma = 0,0536$; $SE = 0,1199$).

Os resultados obtidos nessa análise são condizente com a afirmativa de Rasch, Louviere e Teichert (2015), que propõe que problemas de decisão com vários atributos tendem a ser mais favoráveis a proporcionar dificuldades ao decisor em expressar suas preferências. Considerando a Etapa 4, quanto maior o número de critérios, mais próxima a sua relação com a incidência de inconsistência. Problemas de decisão com três ou quatro critérios (Categoria A), 50% apresentaram inconsistências. Esse percentual atingiu 75% para demais categorias.

Svenningsen e Jacobsen (2018) pontuam que o decisor não está totalmente ciente das suas preferências até o momento que as reconheçam como violadas. Portanto, quanto maior o número de critérios, provavelmente o decisor sofre maior demanda para manter elevado volume de informações nos níveis da memória, facilitando a violação das suas preferências.

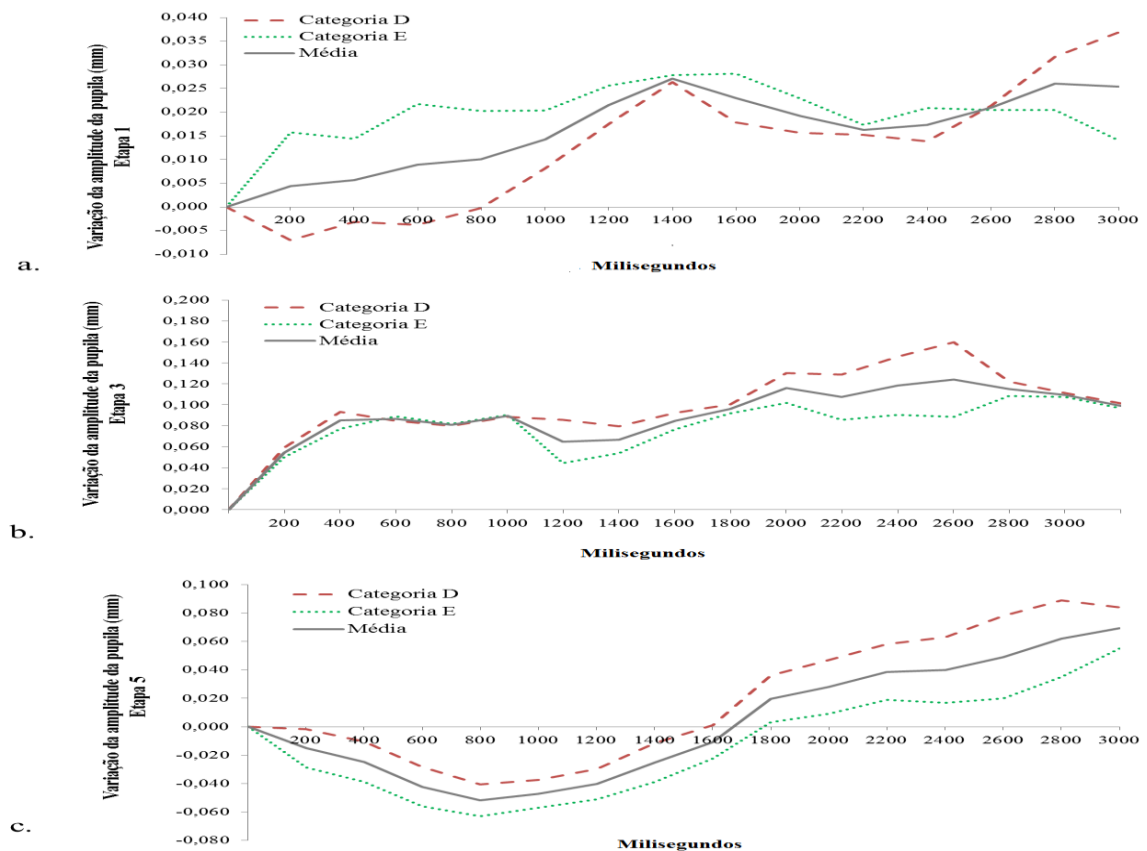
- **Cenário II – Tipo predominante de critério**

Nesse cenário, o foco refere-se à análise do esforço cognitivo do decisor requerido ao desenvolver o procedimento *tradeoff*, diante da variação quanto à natureza dos critérios do problema de decisão. Considerando a amostra ($n = 46$), duas categorias foram estabelecidas:

- Categoria D: problemas de decisão com predominância de critérios quantitativos ($n_d = 22$ ou 47,8%);
- Categoria E: problemas de decisão com predominância de critérios qualitativos ($n_e = 24$ ou 52,2%).

De início, foi proposta a representação das mudanças nas variações do diâmetro da pupila, conforme a Figura 22. O comportamento pupilar apresenta-se em série temporal em 3000 ms após os estímulos, do início de cada etapa do procedimento de elicitação.

Figura 22 - Variação da amplitude da pupila em série temporal



Fonte: A Autora (2020).

Para a análise estatística da Etapa 1 (ver Figura 22a), as suposições de normalidade e homogeneidade da amostra foram verificadas usando o teste de Levene [$F(2,583) = 0,831$, $p = 0,362$]. O teste da ANOVA com medidas repetidas foi usada para testar a diferença média no tamanho da pupila para o tipo de condição de critério. Com o resultado da ANOVA, a média do tamanho da pupila é estatisticamente diferente [$F(1,583) = 9,438$, $p = 0,002$] para as condições sob estudo. Para respostas pupilares na Etapa 3 (ver Figura 22b), a média de amplitude média também varia de acordo com o tipo de critério, com um valor de $p = 0,002$. No entanto, o tamanho médio da pupila apresenta valores mais próximos para as duas categorias, sendo 3,489 para problemas de decisão da Categoria E e 3,588 para problemas de decisão da Categoria D.

Na análise pupilar da Etapa 5 (ver Figura 22c), as premissas de normalidade e homogeneidade também foram verificadas usando o teste de Levene [$F(1,583) = 0,539$, $p = 0,463$]. Além disso, através do teste da ANOVA com medidas repetidas, a média do tamanho da pupila mostra-se estatisticamente diferente [$F(1,583) = 5,962$, $p = 0,015$], e isto corresponde que o nível de esforço cognitivo necessário quando o problema de decisão

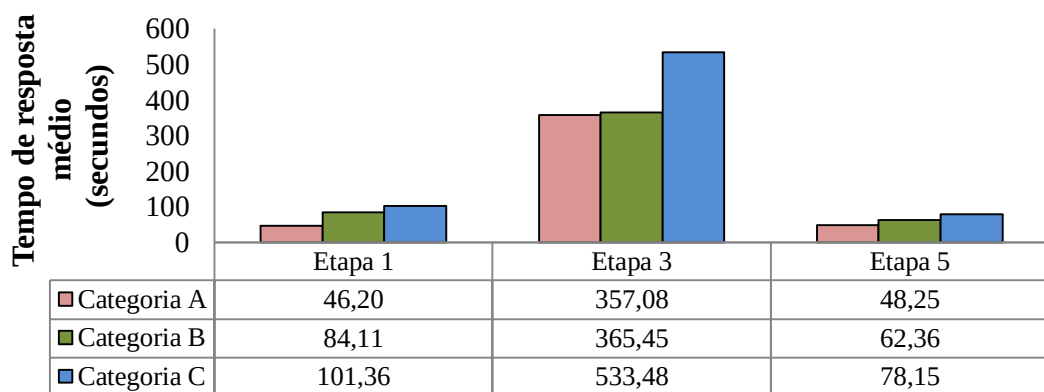
predomina critérios qualitativos são diferentes do problema de decisão predomina critérios quantitativos.

- **Cenário III – Tempo de resposta (RT)**

Nesse cenário o foco condiz às variações no RT nas etapas do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências considerando as diferenças na estrutura do conjunto de critérios do problema de decisão. O RT consiste no tempo exato na qual cada decisor necessitou para avaliar cada etapa do procedimento de elicitación. Assim, de modo a associar um único valor de RT, para cada etapa da elicitación, a média consumida dos RTs dos participantes foi calculada para cada etapa, conforme apresentado no Gráfico 2.

Considerando a perspectiva de verificar se um grande número de critérios no problema de decisão implica em maior RT, foi proposta a análise mantendo a categorização estabelecida no Cenário I (Categoria A – 3 ou 4 critérios, Categoria B – 5 ou 6 critérios e Categoria C – 7 ou 8 critérios). Assim, analisando as três categorias, as respectivas variações no RT estão dispostas no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Distribuição do tempo de resposta por número de critério



Fonte: A Autora (2020).

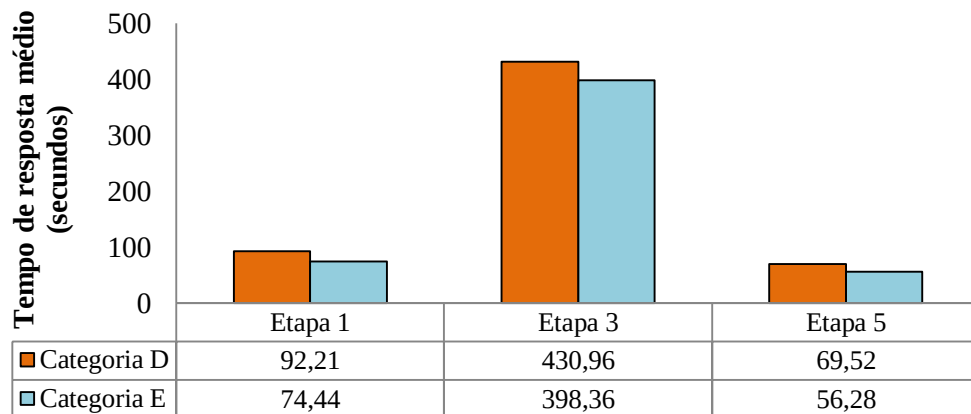
De acordo com o Gráfico 2, percebe-se que o relacionamento entre os RT para as categorias ocorre de modo proporcional. Considerando a quantidade de critérios, afirma-se que à medida que há um incremento gera-se uma tendência a resolução das etapas de forma com maior brevidade. Demonstrando um equacionamento pela quantidade máxima de critérios em cada etapa, o tempo individual de análise por critério segue a distribuição:

- Etapa 1: Categoria A (11,55 s); Categoria B (14,01 s); Categoria C (12,67 s);

- Etapa 2: Categoria A (89,27 s); Categoria B (60,90 s); Categoria C (66,68 s);
- Etapa 3: Categoria A (12,06 s); Categoria B (10,39 s); Categoria C (9,76 s).

Com relação à análise do RT para o tipo predominante de critério considerou-se a permanência da classificação proposta pelo Cenário II. Portanto, as representações para as Categorias D e E são dispostos no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Distribuição do tempo de resposta por tipo de critério



Fonte: A Autora (2020).

De acordo com o Gráfico 3, nota-se que para todas as três etapas apresentadas, quando se há a predominância de critérios numéricos, têm-se uma tendência em maior RT. Esse incremento no RT foi de aproximadamente 23% para as Etapas 1 e 5, e de 8% para a Etapa 3.

De modo a investigar a diferença destes valores de RT, uma análise estatística foi estabelecida diante do teste não paramétrico de Postos Sinalizados de *Wilcoxon*, considerando $\alpha = 5\%$. A utilização deste teste baseia-se no fato que não era exigida a conformidade com a distribuição normal para os valores de RT, além disso, a amostra foi classificada como dependente. Com relação aos resultados, foi obtido os respectivos valores: Etapa 1 ($p = 0,002$); Etapa 3 ($p = 0,001$) e Etapa 5 ($p = 0,000$). Portanto, para todos os valores, a um nível de significância de 5% foram obtidas diferenças estatísticas significativas para as comparações.

3.3.1.3 Discussão dos resultados

O estudo analisa a complexidade do procedimento *tradeoff* pela variação das características do conjunto de critérios do problema de decisão. Os dados pupilares extraídos suportaram as métricas de cognição. O experimento produziu três perspectivas principais para

análises. Primeiro, foi considerado o crescimento nos *inputs*, ou seja, maior quantidade de critérios no problema de decisão. O segundo considerou a variação no sentido matemático, ou seja, a predominância de critérios quantitativos ou qualitativos, e, o terceiro, considerou a análise pelo tempo de resposta para realização de cada etapa do procedimento.

Um aspecto importante a ser salientado do procedimento de elicitación corresponde a dificuldade do decisor para declarar suas preferências antecipadamente, principalmente nos casos em que não se encontra totalmente ciente das opções de escolha (PIGOZZI; TSOUKIÀS; VIAPPIANI, 2016). Os esforços necessários para o decisor durante o desenvolvimento do procedimento de elicitación podem ser cognitivos (responder às perguntas de escolha requer atenção, memória de trabalho, conhecimento e criatividade), temporal (responder às perguntas de escolha requer muitos minutos), financeiro (responder às perguntas de escolha muitas vezes requer contratar uma equipe de especialistas para dar conselhos, identificar o conjunto de critérios e alternativas) e emocional (o procedimento pode ser exaustivo e causar reações de estresse). O fator emocional deve ser especialmente considerado, pois estudos como o de Paschalidis, Choudhury e Hess (2018) apontam que os efeitos do estresse no comportamento dos indivíduos nas decisões devem ser evidenciados mesmo em situações cotidianas, como dirigir um automóvel.

Os estudos de Kool *et al.* (2010) propõem que os decisores escolhem as alternativas, de modo a minimizar seu esforço cognitivo, sendo correlacionada a “lei do menor esforço”. Isto quer dizer que a demanda cognitiva conhecida e antecipada pesa como um custo subjacentes à tomada de decisão. Nos parágrafos que seguem serão apresentadas as implicações decorrentes das análises proporcionadas por cada cenário.

- **Implicações baseadas no número de critérios do problema de decisão**

Em relação à análise da variação no número de critérios, os achados desta pesquisa apontam para uma diferença significativa no processo de cognição. Os resultados da Etapa 1, demonstrados na Figura 21, representam o primeiro indicador de que o número crescente de critérios afeta o processamento cognitivo do decisor. O esforço cognitivo em excesso de decisor pode ser confirmado nos resultados da Etapa 3 (Obtenção das constantes de escala), em que a linha de base da pupila atinge uma ampla faixa de variação, em comparação com as demais etapas. Quanto maior o número de critérios nos problemas de decisão, mais perguntas de escolhas são necessárias de acordo com o procedimento *tradeoff* (KEENEY; RAIFFA, 1976). Então, ao se elevar o número de comparações em pares, consequentemente, o decisor

precisará identificar mais pontos de indiferença. Diante dessas circunstâncias, a peça-chave para essa modelagem é evitar obter todas as preferências do decisor, passando a usar preferências parciais (VIAPPIANI; BOUTILIER, 2011).

O aumento do esforço cognitivo dado à variação no número de critérios não consiste em uma relação linear. Nessa perspectiva, os problemas de decisão da Categoria B, que apresentam cinco ou seis critérios, tendem a serem mais confortáveis para a análise em relação ao nível de esforço cognitivo requerido do decisor, comparativamente às outras categorias. Com esse resultado, é possível inferir que esse limiar quanto ao número de critérios proporciona conforto cognitivo para avaliação do decisor no uso do procedimento *tradeoff* para obtenção de preferências. Em outras palavras, o comportamento cognitivo do decisor indicou que, sob essa condição, as alternativas estão sendo avaliadas com um estado de comportamento adequado, porque uma quantidade apropriada de informações está sob julgamento no processo.

- **Implicações baseadas no tipo predominante de critério do problema de decisão**

Os dados comportamentais demonstraram a diferença no nível de esforço cognitivo do decisor, considerando a condição do tipo predominante de critério no problema de decisão, de acordo com a Figura 22. Conforme mencionado, a pupila dilata com o aumento no esforço cognitivo (HESS; POLT, 1964). Hogervorst, Brouwer e van Erp (2014) associaram a grande variação da pupila a uma alta carga de trabalho. E, van der Wel e van Steenbergen (2018) apresentam evidências como o estímulo quantitativo como sendo de mais difícil compreensão e interpretação que o estímulo qualitativo, correlacionando-os a medidas psicofisiológicas.

No experimento realizado, essas premissas apresentam concordância com a Etapa 3 (Obtenção das constantes de escala), que exige do decisor a capacidade de analisar valores numéricos e compará-los em termos de utilidade, e com a Etapa 5 (Análise dos resultados), que apresenta a classificação das alternativas segundo seu valor global e os valores das constantes de escala dos critérios. Nesta Etapa 5, o decisor precisa analisar e interpretar os resultados para compreender a dimensão da solução encontrada para o problema de decisão. E, um fator intrínseco na Etapa 3 é o aprendizado e a adaptação para responder à pergunta de escolha.

De acordo com resultados obtidos, a Etapa 1 exige um nível cognitivo mais expressivo em problemas com mais de 50% dos critérios qualitativos. Esse resultado pode estar relacionado à falta de parâmetros para estabelecer limites de preferência entre os critérios.

Considerando o uso de uma escala *Likert*, o decisor pode apresentar dúvidas para determinar aspectos das diferenças e para classificar uma alternativa em cada um dos pontos. Em outra perspectiva, nos problemas de decisão com dados numéricos predominantes, no panorama global, é possível visualizar mais facilmente as *performances* e calcular mentalmente possíveis resultados.

Considerando a perspectiva dos critérios quantitativos, Cheng e González-Vallejo (2018) apresentam que decisores com menor predisposição a trabalhar com informações numéricas enfrentam uma carga cognitiva adicional ao realizar *trade-offs* em situações de formato numérico das informações. Este estudo também pontua que essa maior dificuldade, não está estritamente relacionada ao grau de incerteza nas escolhas, mas também ao maior tempo requerido para se pensar nos cursos de ações, tema discutido no tópico a seguir.

Dickson e Wicha (2019) salientam que no campo da percepção aritmética, os problemas que apresentam números extensos são mais difíceis de resolver do que problemas com números menores. Isto ocorre por uma inter-relação de fatores da memória, incluindo aspectos também como a menor experiência em lidar com tais situações. Deck e Jahedi (2015) pontuam que memorizar números mais longos está associado a um desempenho pior em questões aritméticas e maior suscetibilidade a efeitos de ancoragem. Então, pode-se correlacionar esses aspectos a intensificação do uso de critérios quantitativos nos problemas de decisão, pois com o decorrer do processo de elicitação, números cada vez mais fracionados são apresentados para ao decisor como *performances* para a alternativa de escolha. Isto, pois, a necessidade de identificação do ponto de indiferença requer do decisor uma análise minuciosa das *performances* numéricas das alternativas.

- **Implicações baseadas no tempo de resposta**

Ao tomar decisões, os indivíduos devem consultar as diversas informações dos atributos sobre as alternativas. Em geral, os atributos são avaliáveis se o decisor possuir um sistema de referência inato para fazer as avaliações no nível de atributo ou se basear em informações relevantes acerca do atributo (QUASCHNING, PANDELAERE, VERMEIR, 2014). De acordo com essa perspectiva, pode-se confrontar que o fato dos problemas de decisão com uma demasiada quantidade de critérios, bem como os que apresentam uma predominância de critérios quantitativos, tem-se uma tendência em dificultar a construção dessas representações mentais. Consequentemente, o decisor precisa de mais tempo para recuperar as informações e dispor das suas preferências.

Um maior valor de RT designa um processamento de informações mais longo. Os resultados (Gráfico 2 e Gráfico 3) tendem a indicar que um tempo maior resulta em mais processamento e um nível elevado de memória de trabalho. Diferenças estatísticas significativas foram encontradas para todas as situações de comparações estabelecidas. Percebe-se que maior diferença em valor de RT é encontrada quando se analisa os problemas diante do tamanho do *input* (conjunto de critérios). No Gráfico 2, é perceptível o quanto de tempo é requerido, tendo em vista a necessidade de resolver mais questões de escolha afim de encontrar os pontos de indiferença.

3.3.2 Estudo 2

Os problemas do MCDM/A costumam lidar com atributos financeiros, exemplos dos quais são dados por Pineda *et al.* (2018), Shen, Hu e Tzeng. (2017), Zolfani *et al.* (2013) e Wang *et al.* (2007). No geral, tais atributos proporcionam um cunho de análise como valores em custos, lucros, investimentos, prejuízos, na qual intuitivamente tendem a ganhar notoriedade sobre outros critérios. A maioria desses atributos é medida de forma direta numa escala monetária e, pode ser classificada como um atributo natural, com a escala representativa seu significado (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005; Almeida *et al.*, 2015).

Este estudo volta-se as análises do comportamento do decisor durante a modelagem de preferências considerando a propriedade dos critérios de cunho financeiro nos problemas de decisão. A hipótese de pesquisa, os resultados e as implicações são apresentados a seguir.

3.3.2.1 Hipótese de pesquisa

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências, principalmente com relação às inconsistências geradas e os padrões comportamentais de decisores, tomando como base a presença de critérios financeiros no problema de decisão. O objetivo é conhecer o esforço cognitivo do decisor quando submetido a atividades que apresentem esse tipo de natureza. Assim, tem-se a seguinte hipótese (H_5):

H₀ – Problemas de decisão multicritério requerem um nível de esforço cognitivo semelhante do decisor para tratar de critérios financeiros e critérios não financeiros.

*H₅ – Problemas de decisão multicritério que apresentam critérios financeiros
requerem mais esforço cognitivo do decisor no procedimento tradeoff de
elicitación de preferência.*

De maneira geral, critérios financeiros promovem vieses analíticos para a viabilidade econômica e financeira de um projeto. Portanto, tais critérios estão fortemente alinhados a uma perspectiva estratégica do problema de decisão. Para enquadramento neste cenário de análise, bastava ter o critério financeiro no problema de decisão, não havendo distinção de quantidade mínima ou máxima de atributos por cada problema de decisão.

3.3.2.2 Resultados

Ao total, este estudo apresentou como amostra válida 32 problemas de decisão, de acordo com a explanação do tópico 3.2.2. Destes, apenas sete problemas de decisão não apresentaram inconsistências, indicando uma taxa de 78% de inconsistência no experimento. Esse resultado confirma o percentil registrado por Weber e Borchering (1993), na qual apontava que o procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências apresentava uma taxa de aproximadamente 68% de inconsistências.

Com relação às opções de inconsistência apresentadas ao decisor durante o experimento, foi possível observar que a maioria dos participantes preferiu dar como resposta a questão de escolha a Opção 1 às Opção 2 e Opção 3. Como neste experimento as questões de inconsistência eram mostradas e resolvidas individualmente houve uma predominância de participantes que resolveram apenas uma questão de escolha. No entanto, também houveram participantes que resolveram até três questões de escolha.

Para ser explícito, a Opção 1 foi selecionada integralmente em 20 problemas de decisão, ou seja, somente essa opção foi selecionada para todas as inconsistências apresentadas e, em um problema de decisão, foi combinada com a Opção 2. A Opção 2 foi selecionada integralmente em apenas um problema de decisão e a Opção 3 foi selecionada integralmente em três problemas de decisão. A Tabela 7 sintetiza o número de inconsistências encontradas nos casos tratados, ou seja, problemas de MCDM/A estruturados por cada participante. A primeira coluna apresenta o número de casos em que cada opção (1, 2, 3) foi selecionada, ou mesmo os casos em que não ocorreram inconsistências. A segunda coluna mostra o número total de inconsistências encontradas para cada opção, ou seja, faz-se presente apenas nos casos em que tenham ocorrido as inconsistências.

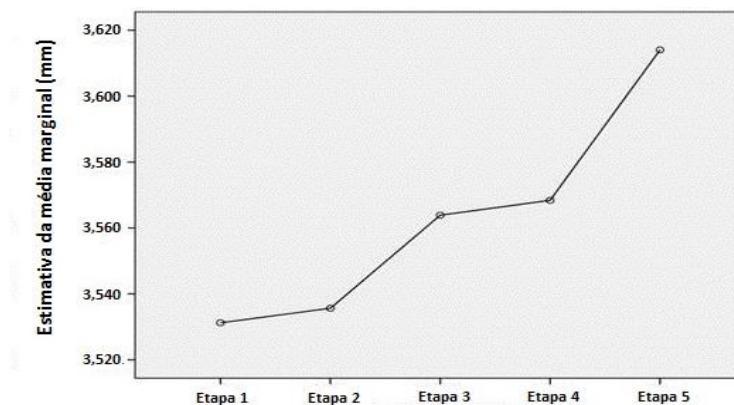
Tabela 7 - Inconsistências encontradas nos casos estruturados

Opções	Número de casos	Número de inconsistências
Opção 1	20	34
Opção 2	3	2
Opção 3	3	5
Não inconsistência	7	0

Fonte: A Autora (2020).

Para investigar o comportamento do decisor no desenvolvimento do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências foi proposta a análise da variação pupilométrica por etapa, conforme o Gráfico 4. Para isto, foi calculado o valor médio do tamanho da pupila dos participantes para cada etapa do procedimento.

Gráfico 4 - Comportamento do diâmetro da pupila (Estudo 2)



Fonte: A Autora (2020).

Considerando o tamanho médio da pupila para todos os participantes em cada etapa, seguindo as etapas do Gráfico 4, foi possível verificar o seu aumento no decorrer do desenvolvimento do procedimento. Esse resultado, confrontando com os achados teóricos apresentados no Capítulo 2, tende a sugerir que o decisor precisou ter mais atenção e deter maior foco nas tarefas à medida que o experimento progride.

Do total da amostra, apenas cinco problemas de decisão não possuíam critérios de caráter financeiro, ou seja apenas 15,6%. Considerando que a Etapa 3 (Obtenção das constantes de escala), corresponde ao segmento em que os decisores investigam com precisão os critérios, verificou-se a variação no diâmetro da pupila quando os problemas de decisão envolvem ou não envolvem critérios financeiros, obtendo a perspectiva de:

- Etapa 3 (ausência de critérios financeiros): o diâmetro médio da pupila foi de 3,4966 mm, com um coeficiente de variação estatística em torno de 15%;
- Etapa 3 (presença de critérios financeiros): o diâmetro médio da pupila foi de 3,5618 mm, com coeficiente de variância estatística em torno de 13,3%.

Com relação à determinação do tempo de resposta médio para execução de cada etapa do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências, foi obtido respectivamente: 1,3 min (Etapa 1); 1,8 min (Etapa 2); 6,8 min (Etapa 3); 1,8 min (Etapa 4), e 1,0 min (Etapa 5). No geral, a média de tempo total consumida nesta atividade experimental foi de 12 min, por participante. Assim, usando os dados coletados para a Etapa 3 foi aplicada a Correlação de Pearson entre o RT e o tamanho do diâmetro da pupila, com o intuito de verificar o grau de correlação entre essas duas variáveis métricas. Os resultados estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Coeficiente de correlação de Pearson entre tamanho da pupila e RT

	Diâmetro da pupila	RT
Variação média		
Correlação de Pearson	1	0,11
Sig. (bicaudal)		0,953
N	32	32

Fonte: A Autora (2020).

De acordo com a Tabela 8, foi obtida uma correlação positiva fraca ($r = 0,11$) entre as variáveis. Quando esse mesmo parâmetro é comparado tomando como base os dados da Etapa 4, também é obtida uma correlação negativa fraca ($r = -0,159$). Portanto, percebe-se que essas variáveis métricas não apresentam um grau de correlação considerável, visto que seria necessário obter um valor próximo a $r = 1.0$, seja positivo ou negativo.

Outra métrica importante relacionada à Etapa 4 corresponde a análise das respostas pupilares a partir da segmentação das três opções de respostas para a resolução das inconsistências. Assim, foi desenvolvida uma análise estatística descritiva tendo como parâmetro o valor do diâmetro da pupila, conforme a opção:

- Participantes que escolheram a Opção 1 – variação média da pupila foi de 3,8044 mm;
- Participantes que escolheram a Opção 2 – variação média da pupila foi de 3,6083 mm;

- Participantes que escolheram a Opção 3 – variação média da pupila foi de 3,5378 mm.

De acordo com os dados apresentados, percebe-se que aceitar uma indicação para a mudança de preferência resulta em maior esforço cognitivo ao decisor, quando comparado as demais situações. Com relação aos dados do EEG, uma análise de assimetria FAA foi empreendida nos pares de eletrodos F3/F4, F7/F8, AF3/AF4 e FC5/FC6 durante a Etapa 2 e a Etapa 3 do procedimento *tradeoff*. A adesão a esses eletrodos ocorre com base na literatura, pois tais são mais fortemente relacionados as áreas cerebrais mais fortemente ativadas em momentos de tomada de decisão. Em razão da normalidade não ter sido atendida, diante das condições de homogeneidade e heterocedasticidade, foi utilizado o teste dos postos sinalizados de *Wilcoxon*. Os resultados estão dispostos na Tabela 9.

Tabela 9 - Análise FAA entre as Etapas 2 e 3

$\alpha = 0,01$	Etapa 2	Etapa 3
Pares de eletrodos		
AF3/AF4		
F3/F4		
F7/F8	Esquerdo > Direito	Esquerdo > Direito
FC5/FC6		

Fonte: A Autora (2020).

Outra análise realizada considerando os dados do EEG comparou a presença da banda *theta* (4 - 7 Hz) para os canais frontais entre as Etapas 3 e 4, conforme os dados apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Análise da banda *Theta* nos eletrodos frontais (Etapa 3 versus Etapa 4)

$\alpha = 0,01$	Potência <i>Theta</i>
Eletrodos	
AF3	Etapa 4 > Etapa 3
AF4	Etapa 4 > Etapa 3
F3	Etapa 4 > Etapa 3
F4	Etapa 4 > Etapa 3
F7	Etapa 4 > Etapa 3
F8	Etapa 4 > Etapa 3
FC5	Etapa 4 > Etapa 3
FC6	Etapa 4 > Etapa 3

Fonte: A Autora (2020).

Na Tabela 10 percebe-se uma predominância de ativação para a Etapa 4 sobre a Etapa 3 em todos os canais considerados. Maiores detalhes sobre os resultados e suas implicações são apresentadas no tópico a seguir.

3.3.2.3 Discussão dos resultados

Para investigar o comportamento do decisor no procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências, especialmente durante a etapa de análise de inconsistência, um primeiro grupo de apreciações foi desenvolvido usando o diâmetro da pupila. Sabe-se que o diâmetro da pupila cresce à medida que a demanda cognitiva da tarefa aumenta (VAN DER WEL; VAN STEENBERGEN, 2018, PAPESH; GOLDINGER, 2014, FIEDLER; GLÖCKNER, 2012). Portanto, as respostas da pupila (Gráfico 4) demonstram que um alto esforço cognitivo foi especialmente necessário entre pares de Etapas (2-3) e Etapas (4-5).

Segundo Hammerschmidt *et al.* (2018), a variação no tamanho da pupila expressa maior atenção. Percebe-se que a presença de critérios financeiros nos problemas de decisão foi responsável por uma variação na pupila 0,0652 mm maior que comparativamente aos problemas de decisão que não apresentavam critérios financeiros. Portanto, a presença de critérios financeiros exige um incremento na carga cognitiva, comprovadamente para a Etapa 3 do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências.

Partindo da importância da variação no diâmetro da pupila, outra análise foi desenvolvida para observar se existe alguma correlação entre o diâmetro da pupila e o RT. Considerando os valores de RT, que por sua vez, correspondem ao tempo necessário para que os participantes concluam cada etapa. Esta informação sugeriu que a Etapa 3 foi a mais extensa, requerendo aproximadamente, quatro vezes mais tempo do que as outras etapas. Usando os dados da Etapa 3 (tamanho da pupila e RT), foi aplicada a Correlação de Pearson (ver Tabela 8). Diante da fraca correlação obtida ($r = 0,11$) pode-se inferir que, mesmo naturalmente, maior carga de trabalho associar-se a variações na pupila, neste caso a própria estrutura do procedimento exerceu um fator de maior (ou mesmo total) influência sobre a carga cognitiva.

Considerando os resultados das variações pupilométricas dada à segmentação quanto as respostas para a situação de inconsistências, tem-se que os participantes que optaram pela Opção 1 apresentaram maior variação em termos de amplitude. Esse fato pode relacionar-se ao aprendizado. Um estudo em contexto semelhante foi apresentado por Hammerschmidt *et al.* (2018), na qual relatou a capacidade de aprendizagem diante de um processo contínuo. A Opção 1 requer uma situação de aprendizado porque o decisor decide aceitar as mudanças de

direção de preferência proposta pelo SAD. Com relação a Opção 2, tem-se uma situação intermediária. O decisor ao mesmo tempo em que pode deter certo conforto por reestabelecer suas preferências para determinar novos valores às constantes de escalas dos critérios, também pode sentir-se fadigado por ter o procedimento estendido. Enquanto a Opção 3 promove-se maior comodidade, pois o decisor sabe que a “fase pensante” do procedimento foi finalizada.

Com os dados do EEG, o estudo teve como proposta avaliar o desempenho cognitivo dos decisores em termos de engajamento e interesse. Como o procedimento *tradeoff* usa informações de preferência para obter uma recomendação de decisão, é crucial que os decisores estejam alertas e engajados para garantir que os resultados reflitam os seus reais interesses.

A análise FAA foi realizada nos pares de eletrodos F3/F4, F7/F8, AF3/AF4 e FC5/FC6 durante as Etapas 2 e 3 do procedimento *tradeoff*. Uma assimetria significativa ($\alpha = 0,01$) foi identificada apenas para o par de eletrodos F7/F8 durante as Etapas 2 e 3, nas quais ocorre a exploração do espaço consequência e da elicitación, conforme os resultados da Tabela 9.

A assimetria *alpha* frontal consiste na diferença na atividade *alpha* (8 – 13 Hz) entre os hemisférios direito e esquerdo da área frontal do cérebro (DAVIDSON *et al.*, 1990). A assimetria observada no par de eletrodos F7/F8 foi negativa, indicando maior ativação da banda *alpha* no hemisfério esquerdo do cérebro. Um índice FAA negativo indica baixos níveis de motivação e engajamento (DAVIDSON *et al.*, 1990; REZNIK; ALLEN, 2018). Assim, os resultados mostram que, durante as Etapas 2 e 3, o decisor se sente menos motivado e envolvido com o problema e, portanto, pode fornecer informações com menor nível de precisão, comprometendo a validade da recomendação do procedimento *tradeoff*. Isso reforça a probabilidade de ocorrer casos de inconsistência.

A análise da comparação da FAA entre os problemas que apresentam inconsistências e os que não apresentam, não ofereceu resultados significativos, sugerindo que outros fatores exercem influência. Quanto à análise da banda *theta* nos eletrodos frontais, são observados valores estatisticamente maiores durante a elicitación, sugerindo que nesta etapa há maior demanda cognitiva no decisor e fadiga. Para a frequência *theta*, no entanto, não houve diferenças entre os problemas que mostraram inconsistências e os que não apresentaram inconsistências.

A existência de diferenças significativas entre no nível cognitivo exigido aos decisores cujos problemas haviam inconsistências *versus* problemas não apresentavam inconsistência

também foi analisado. No entanto, não foi possível rejeitar a hipótese nula. Sugere-se, portanto, que a inconsistência possa ser gerada por mais de um fator, não apenas pela motivação e engajamento dos decisores. A própria natureza do problema pode exigir mais tempo e esforço do decisor, levando a falhas no fornecimento de informações precisas.

A frequência *theta* está relacionada à fadiga e a atividades com alto grau de complexidade (KLIMESCH, 1999; WASCHER *et al.*, 2014; ARICÒ *et al.*, 2016). Além disso, existem evidências na literatura que indicam a relação de crescimento na ativação *theta* com baixo envolvimento e baixo desempenho cognitivo (HERMENS *et al.*, 2005; LIN *et al.*, 2016; FISCHER; PERES; FIORANI, 2018). Assim, a análise dessa banda se soma à análise das FAA, permitindo avaliar a efetividade do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências no processo de apoio à decisão. Em outras palavras, é possível avaliar se os decisores permanecem envolvidos durante a experiência do SAD, fornecendo informações sobre preferências de modo seguro. O teste de postos sinalizados de *Wilcoxon* foi realizado e os resultados identificados mostraram valores mais altos para a maioria dos canais ($\alpha = 0,01$) durante a Etapa 3 (para maiores informações consulte a Tabela 9).

Uma comparação entre o decisor cujos problemas geraram inconsistência e aqueles cujos problemas não ocorreram inconsistências foi realizada na Etapa 3, com base na atividade na banda *theta*. No entanto, não foram encontrados resultados significativos ($\alpha = 0,01$).

Tais resultados corroboram que à medida que o procedimento *tradeoff* avança mais tempo precisa ser consumido, assim exige-se maior esforço do decisor por fornecer mais informações. Ou seja, chega-se a momentos que o decisor, mesmo sendo o responsável pelas consequências de suas ações, está desatento e desengajado com as atividades demandadas.

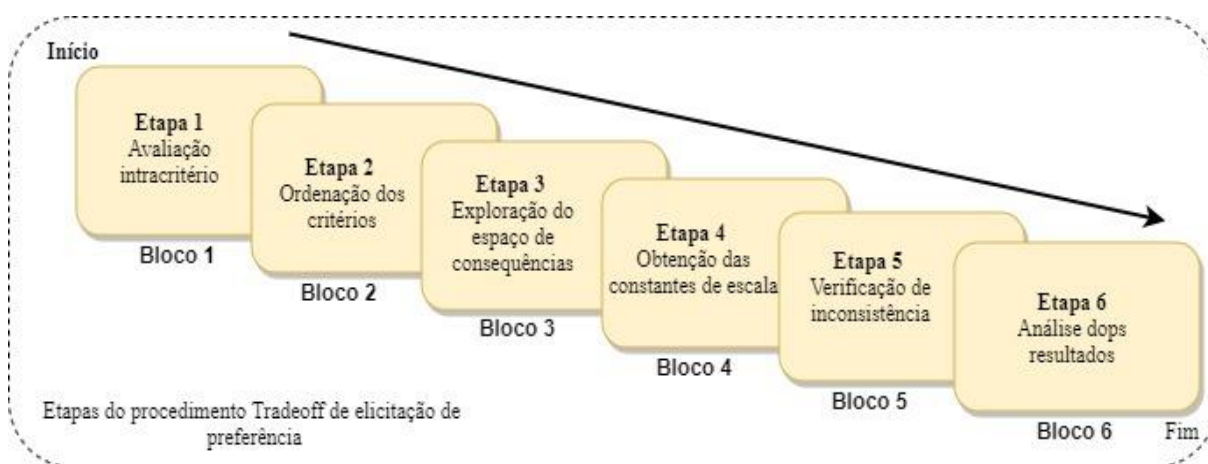
3.4 EXPERIMENTO II

Este experimento também tem como objetivo a análise comportamental do decisor durante a realização do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências. No entanto, foi proposta uma adaptação ao procedimento proposto por Keeney e Raiffa (1976) no que se refere à obtenção da função valor intracritério. O método da bisseção foi adaptado e adicionado para dar suporte a esta etapa. A motivação para essa inserção está baseada nos resultados do Experimento 1. Verificou-se que o índice de inconsistência atingiu 78%. Então, procurou verificar se com a inserção de um mecanismo que promovesse uma acurada definição da função valor intracritério esse percentual da ocorrência de inconsistência tenderia

a reduzir. Essa adaptação visa proporcionar ao decisor maior conhecimento acerca do comportamento de cada critério.

Dessa maneira, o conjunto da atividade experimental foi estruturada em seis etapas. O experimento consistiu num conjunto de seis blocos de atividades, conforme a Figura 23. Os fundamentos metodológicos seguem o referencial aportado no Capítulo 2.

Figura 23 - Estrutura dos estímulos (Experimento 2)



Fonte: A Autora (2020).

Para ilustrar a compreensão dos resultados e a visualização dos estímulos deste experimento, um problema de decisão é apresentado (ver Tabela 11).

Tabela 11 - Matriz de consequência do problema de seleção de portfólio

Critérios	Receita (milhões)	Duração (semanas)	Número de colaboradores	Atratividade local	Sustentabilidade
Descrição	Retorno financeiro do projeto	Tempo requerido para execução do projeto	Quantitativo de colaboradores necessário	Índice de visibilidade	Índice de sustentabilidade
Direção de preferência	Crescente	Decrescente	Decrescente	Crescente	Crescente
Escala	Escala monetária	Escala numérica	Escala numérica	Escala verbal	Escala verbal
Projeto 1	6.2	4	74	1	4
Projeto 2	8.3	3	20	2	3
Projeto 3	3.4	6	30	3	5
Projeto 4	7.6	5	50	5	2
Projeto 5	9.5	7	120	4	2

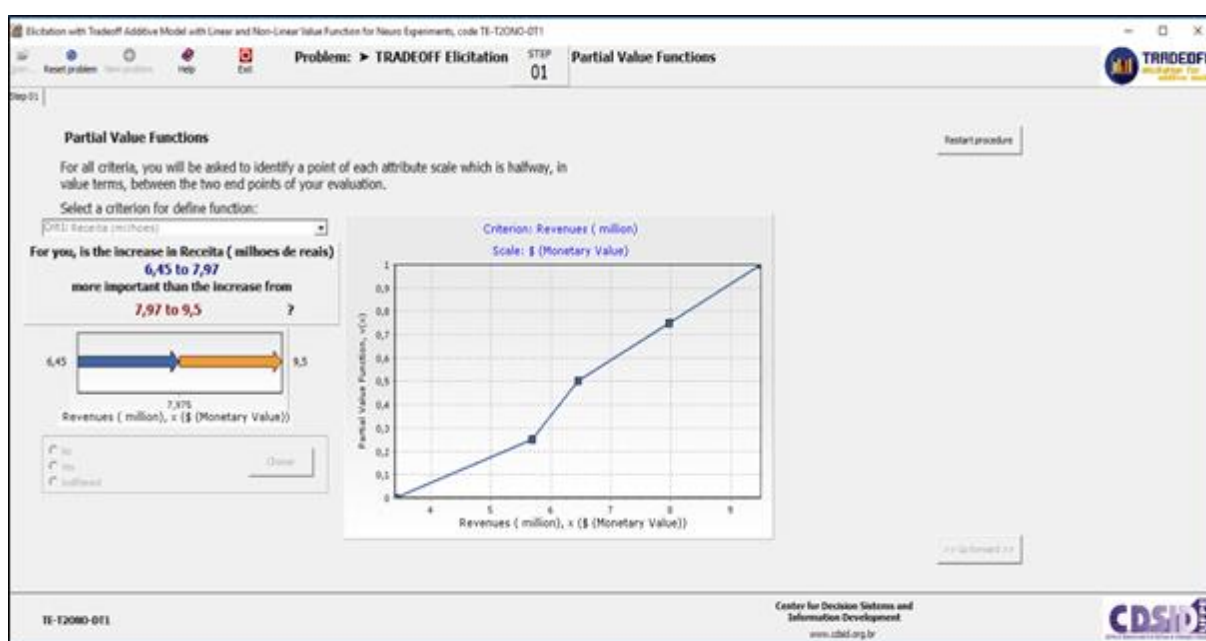
Fonte: A Autora (2020).

O problema de decisão refere-se a uma empresa que está planejando seus projetos pelos próximos seis meses. O decisor é o Gerente de Projetos e sofre fortes influências

externas, sejam econômicas e sociais. Quanto aos elementos de decisão são identificadas cinco alternativas e um conjunto de critérios envolvendo, receita, duração, número de colaboradores, localização atrativa e sustentabilidade. Neste problema, dois critérios (localização atrativa e sustentabilidade) possuem natureza qualitativa e exigiram a elaboração de uma escala verbal para avaliar as alternativas, na qual 1 representa um desempenho péssimo e 5 representa um desempenho excelente. Os demais critérios foram analisados numericamente, variando apenas a medida da escala, conforme apresentação na matriz de consequências.

Inicialmente, com relação a determinação da função valor intracritério (ver Figura 24), é permitido ao participante o acompanhamento em tempo real da construção do comportamento da função visto a determinação sequencial dos pontos médios. Inclusive, nesta representação é possível perceber a demarcação dos três pontos médios requeridos, respectivamente em 25%, 50% e 75%. É importante ressaltar a obrigatoriedade para a determinação desses três pontos, ou seja, o decisor não poderia optar por modelar apenas um ou dois pontos. A escala linear de setas ao lado esquerdo da tela além de ter cores diferentes para representar cada segmento da questão de escolha, também varia em termos de tamanho. Consequentemente, o decisor obtém uma melhor visualização das situações. No caso representado na Figura 24, o comportamento da função intracritério obtida para o atributo de receita tende a apresentar tendência linear.

Figura 24 - Design do estímulo referente à Etapa 1 (Experimento II)



Fonte: SAD tradeoff (2020).

Na Etapa 2 (Ordenação dos critérios), em acordo com as preferências do decisor, a seguinte ordem foi obtida: [Sustentabilidade] $> k_2$ [Receitas (milhões)] $> k_3$ [Atratividade local] $> k_4$ [Duração (semanas)] $> k_5$ [Número de colaboradores]. O *layout* desta etapa está apresentado na Figura 25. Percebe-se que a representação gráfica dos critérios proporciona um melhor entendimento das suas respectivas *performances*, máxima e mínima.

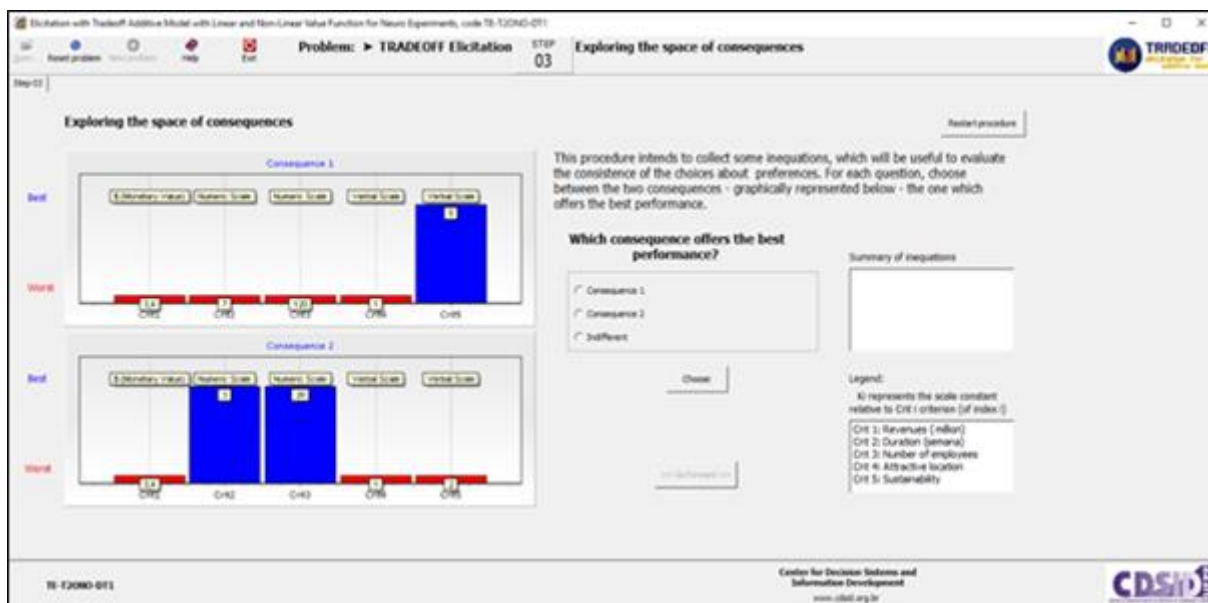
Figura 25 - Design do estímulo referente à Etapa 2 (Experimento II)

The screenshot displays the TRACEDIFF software interface during the 'Criteria Ranking' step. The main window is titled 'Elicitation with Tradeoff Additive Model with Linear and Non-Linear Value Function for Multi-Experiments, code TR-EDMD-Q11'. The 'Problem' is 'TRADEOFF Elicitation' and the 'STEP' is '02'. The 'Criteria Ranking' section prompts the user to 'Consider a hypothetical alternative, with the worst performance in all criteria.' and 'Now suppose that you can improve the performance of this alternative in only ONE of the criteria to the maximum value, which criteria would you choose?'. A bar chart titled 'Consequence of a hypothetical alternative' shows five criteria (C1 to C5) on a scale from 'Bad' to 'Good'. Below the chart, a list of criteria is provided for selection: C1: Receita (milhões), C2: Duração (semanas), C3: Número de colaboradores, C4: Atratividade local, and C5: Sustentabilidade. A 'Criteria Ranking' box is also visible on the right side of the interface.

Fonte: SAD tradeoff (2020)

Em sequência, a Etapa 3 (Exploração do espaço de consequências) tem seu *design* representado pela Figura 26. Para o problema de decisão que está sendo descrito foram necessárias a resolução de três questões de escolha. Percebe-se que neste *design* do Experimento II, diferentemente do experimento anterior é visível ao participante uma lista contendo a relação do conjunto de critérios para seu problema de decisão. Este fato pode proporcionar ao participante um maior sentido de análise global e não simplesmente para os critérios envolvidos na questão.

Figura 26 - Design do estímulo referente à Etapa 3 (Experimento II)



Fonte: SAD tradeoff (2020).

Como descrição das questões de escolha necessárias para o problema descrito tem-se: a primeira situação de comparação apresentada foi: Consequência 1 com *performance* 5 em Sustentabilidade *versus* Consequência 2 com a combinação das *performances* 3 em Duração e 20 em Número de colaboradores (ver Figura 26). Para esta comparação, o participante optou pela Consequência 1, obtendo a inequação $k_5 > k_2 + k_3$. A segunda situação de comparação apresentou a Consequência 1 com *performance* 9,5 em Receita *versus* Consequência 2 com a combinação das *performances* 3 em Duração e 5 em Localização atrativa. Neste caso, a Consequência 2 foi preferida, estabelecendo a inequação $k_1 < k_4 + k_2$. Por fim, a terceira situação de comparação avaliou a Consequência 1 com *performance* 5 em Localização atrativa *versus* Consequência 2 com a combinação das *performances* 3 em Duração e 20 em Número de funcionários. O participante preferiu a Consequência 2, obtendo a inequação $k_4 < k_2 + k_3$.

A Etapa 4 (Obtenção da constante de escala) apresenta-se composta por questão de escolha e gráficos em *design* semelhante à Figura 27. Neste *design* verifica-se também a listagem com o conjunto de critérios do problema de decisão, diferentemente do Experimento I, na qual essa informação era ausente. Consegue-se distinguir, de forma clara, os critérios que estão sendo considerados para análise.

Figura 27 - Design do estímulo referente à Etapa 4 (Experimento II)

Obtaining the Scale Constants

The step 4 of the elicitation process consists in a sequence of questions about preferences. This step's purpose is to settle consequences which create a scenario of indifference. Criteria defined by verbal scales are depicted by an interval scale. Please, answer the following question for each pair of consequences showed:

Consequence 1

Best

Worst

Which consequence offers the best performance?

☐ Consequence 1

☐ Consequence 2

☐ Indifferent

Choose

Summary of inequalities

Legend:

Ki represents the scale constant relative to CRI i criterion (of index i)

CRI 1: Receita (values de reais)

CRI 2: Duração (years)

CRI 3: Funções (functions)

CRI 4: Localidade

CRI 5: Sustentabilidade

Note: If you desire, you can directly enter the value of the evaluation criteria outlined in consequence 1, where there is a relation between the two consequences shown above.

TE-T20NG-DT1

Center for Decision Systems and Information Development

www.cdsid.org.br

CDSID

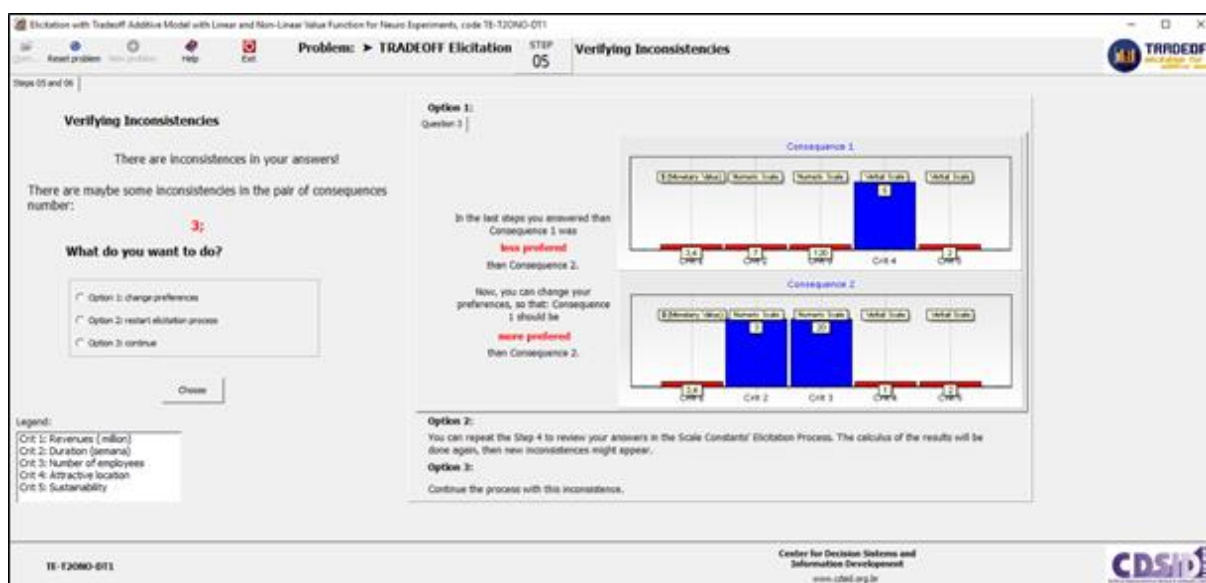
Fonte: SAD tradeoff (2020).

Para o caso do problema de decisão em descrição, a primeira comparação par a par foi realizada entre os critérios Sustentabilidade *versus* Receita, tendo como Consequência 1 a *performance* 3,5 em Sustentabilidade e Consequência 2 a *performance* em 9,5 em Receitas. É importante lembrar que a *performance* da Consequência 2 permanecerá fixo em todas as rodadas para o respectivo par de comparação. Neste caso, o participante optou pela Consequência 2. Então, o valor em Sustentabilidade foi atualizado para 4,07 (ou seja, um melhor desempenho), de modo que convenceu o participante pela Consequência 1. Sendo assim, a *performance* em Sustentabilidade reduziu para 3,76.

O processo prossegue até o momento em que o participante declarar indiferença às consequências apresentadas. Nesta etapa, em média 17 *trials* foram avaliados por cada participante para o conjunto de critérios do problema de decisão.

A Etapa 5 é responsável pela avaliação das inconsistências. Para este processo, a questão de escolha juntamente com as três opções de resposta são dispostas em *design* similar a Figura 28. É importante observar a disposição dos gráficos e das marcações em destaque (na cor vermelha) da alteração de preferência que está sendo proposta pelo SAD.

Figura 28 - Design do estímulo referente à Etapa 5 (Experimento II)



Fonte: SAD tradeoff (2020)

No exemplo ilustrado, apenas uma inconsistência foi gerada, relacionada à questão 3. A indicação do número da questão pode ser conferida acima do gráfico. Nessa inconsistência, o decisor havia posicionado que a *performance* 5 em Atratividade local seria menos preferido que a combinação das *performances* 3 em Duração e 20 em Número de empregados (ver Figura 28). No entanto, pela modelagem das preferências no decorrer da Etapa 4, verificou-se que deveria haver uma mudança nessa relação, de modo a se tornar mais preferível a combinação das *performances* Duração e Número de empregados. Essa sugestão consiste justamente na Opção 1. Para a Opção 2 e Opção 3 uma breve descrição também é apresentada logo abaixo da representação gráfica, e estas seguem os fundamentos metodológicos descritos no Capítulo 2. No caso descrito, o decisor optou como solução a questão de escolha a Opção 1.

Conforme mencionado, 45 problemas de decisão resultaram em casos de inconsistências. Como medida de análise, 33 decisores selecionaram a Opção 1, 6 decisores selecionaram a Opção 2 e, 6 decisores selecionaram a Opção 3. Considerando que alguns problemas de decisão tiveram mais de um caso de inconsistência, ao total, 79 inconsistências (obedecendo ao intervalo de 1–5 casos por problema de decisão) foram investigadas.

Finalizada a Etapa 5, os valores das constantes de escala dos critérios e a ordenação das alternativas (da melhor para a pior alternativa) são apresentados, representando a Etapa 6 (Análise dos resultados). Os resultados obtidos pelo participante para o problema de decisão descrito estão expressos na Tabela 12. O Projeto 2 foi determinado como a melhor alternativa,

e o critério de Sustentabilidade representa o atributo com maior impacto nesta decisão de acordo com a modelagem *tradeoff* de preferências.

Tabela 12 - Resultados do procedimento *tradeoff* para o problema de seleção de portfólio

Alternativas	Valor global	Critérios	Constante de escala (<i>k</i>)
Projeto 2	3,38661	Receitas (milhões)	0,25806
Projeto 4	2,55519	Duração (semanas)	0,06452
Projeto 3	2,50000	Número de empregados	0,03226
Projeto 1	2,09902	Atratividade local	0,12903
Projeto 5	1,75000	Sustentabilidade	0,51613

Fonte: A Autora (2020).

A partir dos dados dos participantes válidos ($n = 66$), o número médio de critérios por problema de decisão foi 5,2 ($\sigma = 1,64$), predominando os critérios quantitativos (65,21%). Os contextos estiveram imersos em diferentes problemáticas, incluindo avaliação de fornecedores, seleção de portfólio, compra de matéria-prima, avaliação do programa de manutenção e decisão de investimentos. Além disso, apenas 21 desses problemas de decisão não apresentaram situações de inconsistências durante o procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências, indicando um índice de 68,18% em inconsistências. Em uma análise comparativa entre as duas atividades experimentais, percebe-se que o Experimento II resultou, aproximadamente, em um nível de 10% em menos de ocorrência de inconsistências, em comparação ao Experimento 1.

Em termos de tempo total de resposta, cada etapa das tarefas experimentais do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências tiveram uma duração diferente. No geral, a Etapa 1 apresentou o maior tempo médio de resposta ($\bar{x} = 12,6 \text{ min}$), seguida pela Etapa 4 ($\bar{x} = 3,3 \text{ min}$). Comparativamente ao Experimento 1, percebe-se que diante da inclusão da determinação da função intracritério via método da bisseção, esta passou a ser a etapa que requer maior tempo de empenho, mas a Etapa 4 continuou requerendo um período de tempo considerável dentre as demais etapas do procedimento.

Diante deste experimento dois estudos foram desenvolvidos. O Estudo 3 propôs investigar a variação na demanda da atenção e da memória de trabalho durante o procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências. Enquanto, no Estudo 4 realizou uma nova análise do esforço cognitivo requerido na execução do procedimento *tradeoff* com relação à diversificação das características do conjunto de critérios do problema de decisão (seja por tipo de critério predominante ou quantidade de critérios presentes no problema de decisão).

Diferentemente do Estudo 1, este novo estudo também incorpora análise das métricas dos dados neurais. Adicionalmente, foi empreendida uma análise cruzada entre essas duas condições da estrutura dos critérios.

3.4.1 Estudo 3

Este estudo visa complementar as perspectivas já consideradas acerca da análise do comportamento cognitivo do decisor diante do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências. Assim, procura-se ter o foco nos aspectos comportamentais do decisor com relação ao fator da atenção e da memória de trabalho, especialmente na etapa de obtenção das constantes de escala dos critérios. Almeja-se conhecer mais profundamente uma das etapas mais custosas cognitivamente ao decisor com relação a este tipo de modelagem de preferências, fato comprovado diante dos estudos prévios. A descrição do estudo inicia com a apresentação da hipótese de pesquisa, seguindo-se pelo detalhamento dos resultados e a discussão das suas implicações.

3.4.1.1 Hipóteses

A atenção é um tópico de pesquisa que desponta um crescente interesse para a literatura sobre tomada de decisão (KUNAR, *et al.*, 2017). Particularmente, o aspecto da atenção pode ser caracterizado como uma condição cognitiva que apresenta uma relação com a capacidade de concentração, processamento de informações, foco e consciência (SMITH; KRAJBICH, 2018). Portanto, percebe-se que a atenção é um fator intrínseco ao processo decisório. As decisões requerem o engajamento, consciente ou não, da atenção, implicando no processamento seletivo de estímulos em detrimento a outros.

Por conseguinte, a atenção representa a combinação de dois atributos – aprimoramento seletivo e supressão ativa – que dependem da conscientização do indivíduo (TRAVIS; DUX; MATTINGLEY, 2019). Dessa maneira, a atenção está atrelada a aquisição, ao armazenamento e o uso dos conhecimentos adquiridos ao longo do processo decisório. Perante estes conceitos, a H_6 desta pesquisa foi desenvolvida e apresenta-se descrita como:

H_0 – O nível de atenção requerido ao decisor é semelhante ao longo do desenvolvimento do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências.

H_6 – O nível de atenção requerido ao decisor varia ao longo do desenvolvimento do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências.

Van der Wel e van Steenbergen (2018) propõem que as respostas pupilares são sensíveis ao contexto, envolvendo-se diretamente nas variações da dificuldade da tarefa (como por exemplo, as fases de um processo de tomada de decisão). As variações no tamanho do diâmetro da pupila relacionadas ao processamento de informações são pertinentes à ativação neurológica simpática (BEATTY; LUCERO–WAGONER, 2000). Rajkowski *et al.* (2004) evidenciam a confiabilidade do diâmetro da pupila ao agir no LC, conforme foi pontuado na fundamentação teórica no Capítulo 2. Para analisar o processo de tomada de decisão, a região frontal cerebral é, geralmente, mais evidenciada em relação à frequência de tempo, cujo fato pode ser justificado por sua relação com as habilidades cognitivas do ser humano.

Em estudos prévios desenvolvidos nesta pesquisa, evidenciou-se que a Etapa de “Obtenção das constantes de escala” carece de um aprofundamento nas análises em razão do demasiado esforço cognitivo que requer ao decisor. Dessa forma, em busca de maiores conhecimentos foi desenvolvida análises como os potenciais elétricos cerebrais (ERPs). Em particular, a análise do P300, porque, de acordo com Calvo, Paredes e Figueroa-Nazuno (2018) este componente está associado à capacidade de atenção do indivíduo. Corroborando, Dickson e Wicha (2019) em seu estudo propuseram que medidas cerebrais (amplitude e latência do P300) durante a avaliação de uma solução, refletem aspectos da cognição. Tais autores também ponderam que o P300 é sensível a um conjunto de fatores, incluindo propriedades objetivas do estímulo e julgamentos subjetivos.

Outros aspectos avaliativos tais como a memória de trabalho, podem revelar importantes variáveis acerca da Etapa 4 do procedimento *tradeoff*. A memória de trabalho também exerce influência no desempenho do decisor das tarefas de decisão, pois envolve o monitoramento, a manipulação e a integração das informações e a capacidade de resposta à demanda cognitiva (OBERAUER, 2018; VAN DER WEL; VAN STEENBERGEN, 2018). Assim, entender como as decisões são tomadas não é apenas um fato interessante, mas também um aspecto importante, porque a eficácia está alinhada com a interação entre a memória de trabalho e os processos de decisão (AMINHAJIBASHI *et al.*, 2019; LEWANDOWSKA *et al.*, 2019). Portanto, analisar o nível de memória de trabalho no decorrer do procedimento *tradeoff* pode repercutir na identificação quais momentos de maior densidade do procedimento, e consequentemente permitir a proposição de melhorias.

Nesta perspectiva, a medida de fixação que representa uma “pausa” para obter informações em uma AOI consiste em uma métrica particularmente interessante ao contexto. Em geral, a fixação é uma relação com o processamento cognitivo e a percepção visual

(CHEN; EPPS, 2013). Umemoto *et al.* (2012) desenvolveram um estudo no qual a medida de fixação foi tida como um aspecto para compreender a eficiência da recuperação de informações.

Segundo Krajbich, Armel e Rangel (2010) pouco se sabe sobre a natureza do procedimento de comparação na tomada de decisão baseada em valor ou sobre a influência das fixações visuais nesse processo. Portanto, esse conjunto de métricas serviu como aporte para a análise da hipótese proposta, proporcionando ganhos a literatura sobre os processos decisórios.

3.4.1.2 Resultados

Inicialmente, os dados pupilares foram analisados por uma estatística descritiva, conforme a Tabela 13. Os dados demonstram que o tamanho médio da pupila aumentou à medida que as etapas do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências progrediram. Dado comportamento já era previsível tendo em vista os estudos anteriormente desenvolvidos. Portanto, tem-se a nova evidência que maior demanda de atenção e dificuldade de resolução de tarefas estão associadas ao desenvolvimento do procedimento.

As métricas das fixações também estão inclusas nos dados pupilares da Tabela 13. Tem-se que a duração da fixação é frequentemente usada como uma métrica para avaliar a dificuldade de extração de informações considerando uma região de interesse (CHEN; EPPS, 2013). Conforme explanado no tópico 3.2.2, para se calcular a duração total da fixação em cada etapa, somam-se todas as fixações nas AOIs previamente demarcadas, e como apontadas refere-se à área dos gráficos e da questão de escolha. Por isso, é necessária uma acurácia para a determinação das AOIs, visto que a depender da abrangência, mais ou menos, da área para análise proporciona distorção nos resultados alcançados.

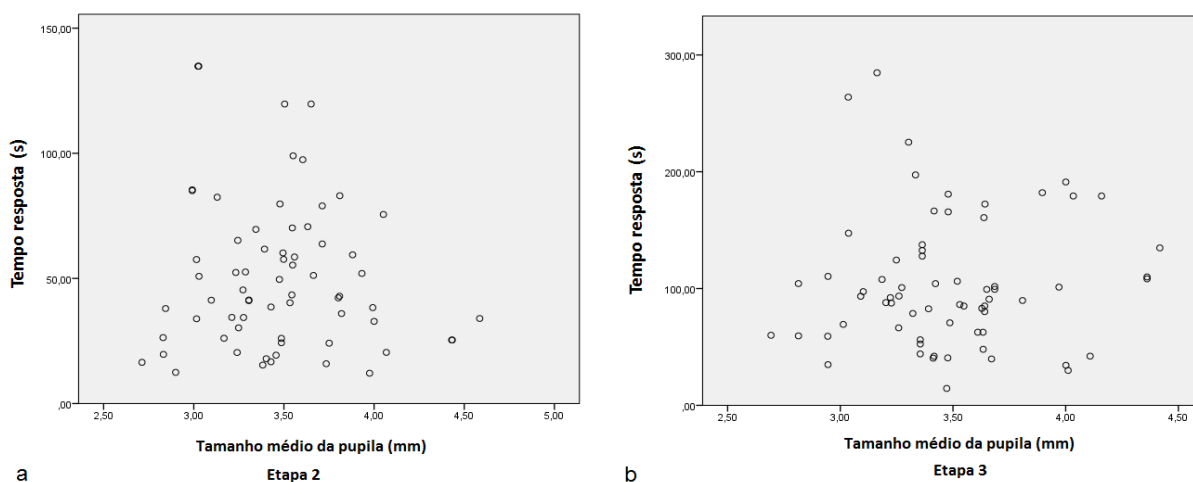
Tabela 13 - Estatística descritiva para as análises pupilares

Variáveis dependentes	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
<i>Variação pupilométrica</i>						
Baseline do diâmetro da pupila (mm)	3,5186	3,5624	3,5521	3,5362	3,4826	3,5284
Média do diâmetro da pupila (mm)	3,6102	3,5610	3,5134	3,5849	3,5471	3,5628
Desvio padrão (σ)	(0,5272)	(0,4957)	(0,3934)	(0,4790)	(0,4323)	(0,4084)
Média da amplitude da pupila (mm)	0,135	0,235	0,262	0,305	0,241	0,195
Desvio padrão (σ)	(0,062)	(0,015)	(0,014)	(0,082)	(0,051)	(0,016)
<i>Medidas de fixação</i>						
Média da duração da fixação (ms)	0,2586	0,248	0,234	0,254	0,243	0,244
Desvio padrão (σ)	(0,058)	(0,058)	(0,045)	(0,054)	(0,040)	(0,063)
Tempo de primeira fixação (ms) – com inconsistência	83,93	874,69	931,68	1025,20	1229,54	1310,76
Tempo de primeira fixação (ms) – sem inconsistência	88,50	771,75	827,62	936,09	-	1088,49

Fonte: A Autora (2020).

As Etapas 2 e 3 apresentaram os menores valores para RT comparativamente às outras etapas do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências. Consequentemente, uma análise de correlação foi proposta para investigar o RT e a variação do tamanho da pupila. As condições de normalidade não foram atendidas. Assim, foi realizado o teste de *Spearman*, (Etapa 2: $R_{Spearman} = -0,012, p = 0,000$ e Etapa 3: $R_{Spearman} = -0,048, p = 0,000$), sendo plotados as correlação de acordo com o Gráfico 5.

Gráfico 5 - Plots da correlação. a. Etapa 2. b. Etapa 3



Fonte: A Autora (2020).

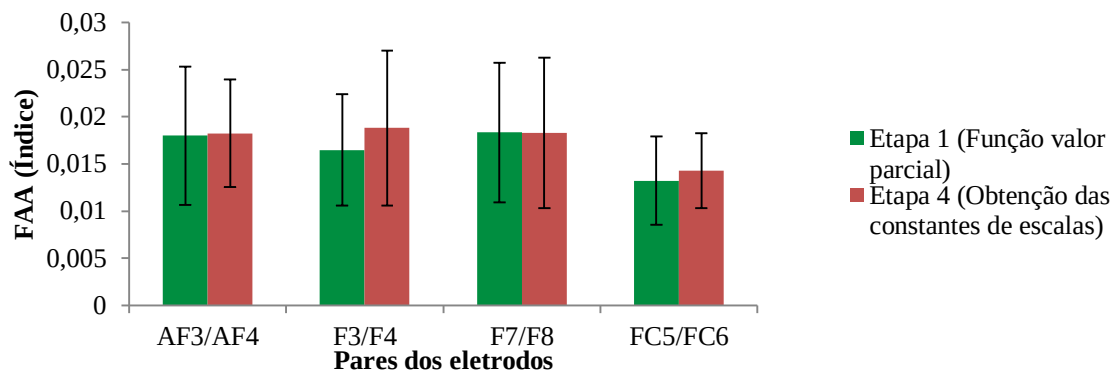
De acordo com o Gráfico 5, as demandas de atenção não apresentaram relação com o tempo requerido para execução de cada etapa. Consequentemente, a redução no tamanho do diâmetro da pupila deve representar uma atenuação na complexidade do processo de obtenção de informações em comparação com as demais etapas do procedimento.

Para análise de dados cerebrais, foi calculado o índice FAA nos pares de eletrodos de AF3/AF4, F7/F8, F3/F4 e FC5/FC6, comparando a Etapa 1 e a Etapa 4 das tarefas experimentais, conforme a plotagem no Gráfico 6. Segundo Davidson *et al.* (1990), o ritmo *alpha* pode ser calculado pela diferença de atividade dos hemisférios cerebrais direito e esquerdo. A condição de heterocedasticidade da normalidade não foi atendida, então o teste estatístico de hipóteses não paramétrico foi utilizado dos postos sinalizados de *Wilcoxon*, $\alpha = 0,01$ para F3/F4 que apresentou a diferença significativa.

Os resultados do Gráfico 6 reforçam a indicação prévia da Tabela 13 relacionada ao grau de dificuldade especialmente nessas duas etapas do procedimento *tradeoff*. Usando a correção de Greenhouse-Geisser, para as análises da Etapa 4, o efeito principal dos eletrodos frontais *versus* parietais foram significativo $F [(1, 1847) = 11,02, p = 0,003]$, de modo que

a frequência *alpha* foi maior nas regiões frontais do que nas regiões parietais. A interação da lateralidade frontal *versus* parietal foi significativa [$F(2, 2065) = 7,11, p = 0,000$].

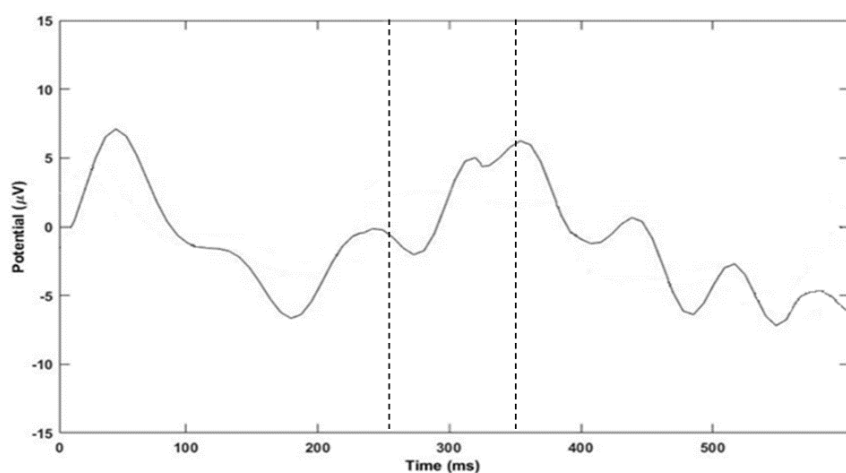
Gráfico 6 - Índices médios da FAA com erro de 95%



Fonte: A Autora (2020).

Outra perspectiva comportamental deste estudo considera a resposta dos participantes nos *trials* da Etapa 4. No total, foram contabilizados 1.041 *trials*. As análises do ERP sobre esses dados suportam o pico de atenção (componente P300), de acordo com a área tracejada do Gráfico 7.

Gráfico 7 - O ERP no eletrodo F7-F3 (média) para a Etapa 4



Fonte: A Autora (2020).

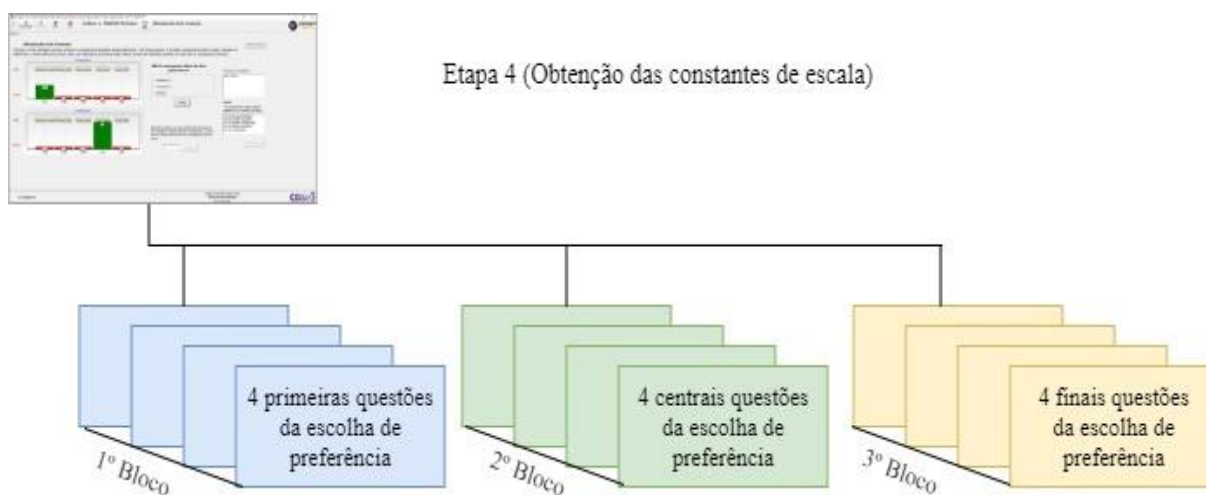
Considerando o impacto da Etapa 4 no procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências foi proposta uma análise envolvendo o aspecto da memória de trabalho sobre o seu desenvolvimento. Maiores informações são apresentadas nos parágrafos seguintes.

- **O aspecto da memória de trabalho para a obtenção das constantes de escala**

Os resultados descritos comprovavam que a Etapa 4 requer maior nível de atenção em relação às outras etapas do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências. A necessidade da identificação do ponto de indiferença pode ser um dos indicativos desse efeito, conforme argumentam Weber e Borchering (1993). Nessa perspectiva, esta etapa foi particularmente analisada sob a perspectiva da memória de trabalho.

Assim, foi proposto dividir a Etapa 4 em três blocos (início, meio e fim) cada um contendo quatro questões de escolha (ver Figura 29). A determinação de quatro questões foi tida com base em um estudo analítico-descritivo da amostra dos problemas de decisão para verificar um valor representativo e que abrangesse tanto situações mais simples até as mais complexas. Ou seja, situações com pequeno ou grande número de critérios. Para ilustrar, considere um problema de decisão que exigiu 20 *trials* na Etapa 4. A divisão para análise foi, respectivamente, 1-4 comparações (1º Bloco), 8-12 comparações (2º Bloco) e 16-20 comparações (3º Bloco). Em alguns casos, uma aproximação foi necessária para determinar esse intervalo.

Figura 29 - Segmentação da Etapa 4



Fonte: A Autora (2020).

Para caracterizar cada bloco, respostas da média da pupila foram calculadas, sendo: Bloco 1 ($\bar{x} = 3,5522$, $\sigma = 0,46624$), Bloco 2 ($\bar{x} = 3,5867$, $\sigma = 0,48847$) e Bloco 3 ($\bar{x} = 3,5371$, $\sigma = 0,38267$). Uma relação significativa entre o tempo de duração da Etapa 4 e o número de critérios do problema de decisão foi obtida, $F[(1,65) = 37,653, p < 0,001, R^2 = 0,398]$. Neste teste, os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram

verificados. Considerando esses resultados, um modelo de regressão linear foi elaborado para se calcular uma previsibilidade do tempo total da Etapa 4 em segundos, tendo como preditor o número de questões de escolha, conforme representado na Equação 6.

$$\text{Tempo resposta total da Etapa 4} = -27.163 + 44.120 X \quad (6)$$

Por fim, ainda com relação à Etapa 4, análises pupilares, o número de *trials* e o tempo por indivíduo por *trial* apresentaram uma correlação moderada (correlação não paramétrica de *Spearman*: $R_{\text{Spearman}} = -0,573$, $p = 0,000$). Detalhes sobre as implicações desses resultados são apresentados no tópico 3.3.1.3.

3.4.1.3 Discussão dos resultados

Na literatura, muitos estudos de modelagem de preferências exploram escolhas únicas para alternativas específicas em uma visão predominante, como preço, *design* ou usabilidade. Por sua vez, o procedimento *tradeoff* solicita que os decisores façam escolhas entre alternativas cujos vários atributos podem entrar em conflito. Esse fato reforça o interesse nessa abordagem, porque o estudo de Cheng e González-Vallejo (2018) discutiu que existem dois componentes que impactam a dificuldade geral em uma tomada de decisão, dos quais um deles é o conflito.

Krajich, Armel e Rangel (2010) apontam a relação entre os efeitos da duração da fixação e formação de preferências. Essa relação pode justificar os resultados apresentados na Tabela 13, nos quais, dois momentos (Etapa 1 e Etapa 4) apresentam valores mais elevados. Na Etapa 1, o decisor elicita suas preferências para determinar o comportamento da função valor para cada critério. Portanto, o decisor precisava reconhecer as características do atributo que está sendo avaliado e como ele pode impactar ao contexto da decisão. A Etapa 4 representa um momento no processo de elicitação que requer um esforço cognitivo excessivo do decisor devido à identificação do ponto de indiferença para cada critério.

De acordo com a análise pupilar baseando-se em Beatty e Lucero-Wagoner (2000), a variação da amplitude da pupila, quando apresenta relação ao processamento da informação, geralmente não atinge valores superiores a 0,5 mm. Diante dos valores exibidos na Tabela 13 pode-se inferir o comportamento cognitivo a partir do processo de informação. Além disso, o estudo de Jubera-García, Gevers e Opstal (2018) mostraram a relação entre a dilatação da pupila e a sensibilidade a mudanças no estado de atenção.

Com base nos conceitos propostos por Wright *et al.* (2018), é possível afirmar que, durante o desenvolvimento do procedimento *tradeoff*, o decisor precisa filtrar informações

não relevantes para alcançar a conscientização e melhorar o seu desempenho. Esse fato reforça os picos de atenção nas Etapas 1 e 4, porque consistem nas tarefas mais longas e intensas.

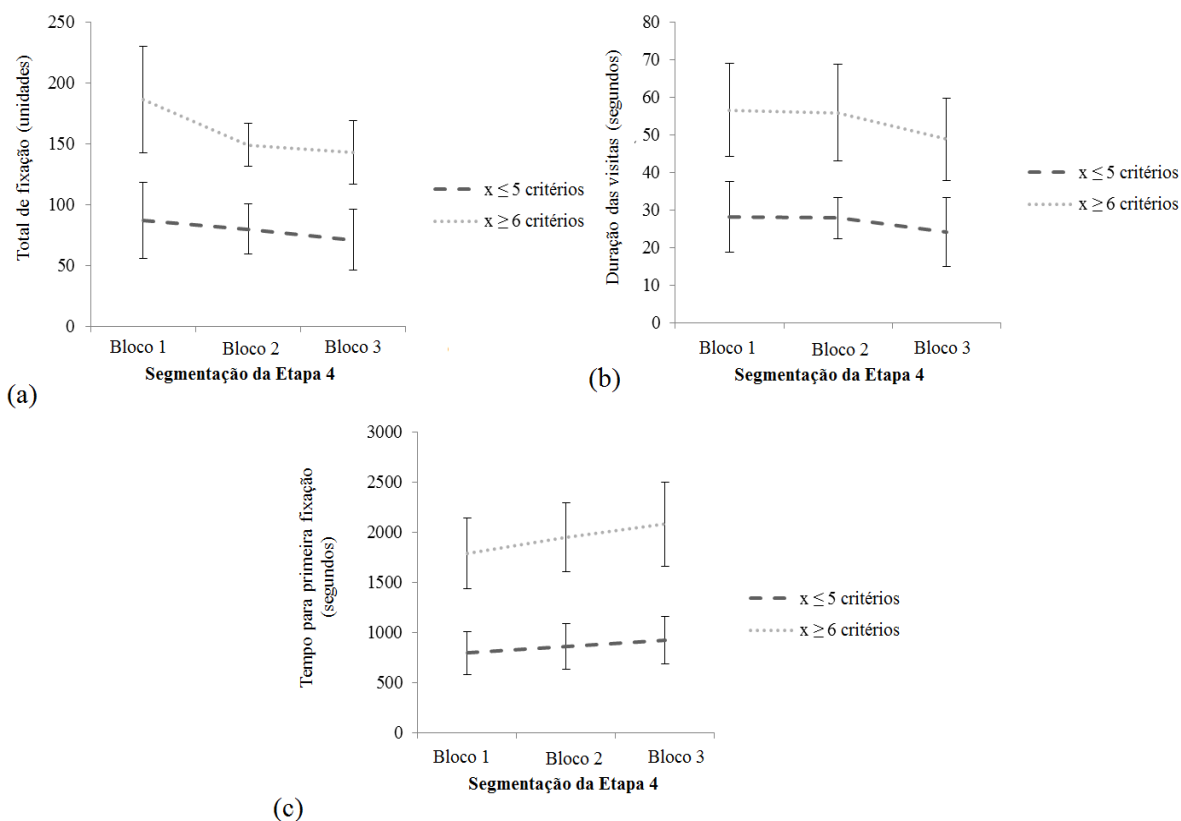
A memória de trabalho representa a capacidade de manter informações em alerta imediato, para que possam ser manipuladas e transformadas em ações úteis nos momentos de demanda (SCHNEIDER; MCGREW, 2012). Analisando as informações na Etapa 4 nota-se que a memória de trabalho apresentou uma redução em sua capacidade. Esse fato reforça que a comparação pareada e a identificação do ponto de indiferença do procedimento podem ser cansativas e longas. Portanto, considerando a análise de 1041 *trials* da Etapa 4 e a medida de movimentos oculares apresentada no Gráfico 8, é possível propor um número de limiares de interações (p') para cada comparação pareada, conforme as equações 7 e 8.

$$\text{Se } X \leq 5 \rightarrow p' \leq 5 \text{ interações} \quad (7)$$

$$\text{Se } X > 6 \rightarrow p' = \frac{X}{2} + 1 \quad (8)$$

Onde X representa o número de critérios no problema de decisão.

Gráfico 8 - Correlações pupilares para análise de memória de trabalho na Etapa 4



Fonte: A Autora (2020).

No Gráfico 8 percebe-se a dificuldade da atenção do decisor potencializada pelo crescente número de critérios no problema de decisão. Em termos da primeira medida de duração da fixação, houve um aumento de aproximadamente 40% nas repercussões da distração do decisor. De maneira mais geral, os resultados estendem a relação entre precisão da memória e detalhes de atributos para a dimensão de escolha do processo de tomada de decisão (HALAMISH; BOROVIOI; LIBERMAN, 2017) e os indivíduos preferem um curso de ação que requeira menos tempo e esforço cognitivo (DUM; RISK, 2019).

A região frontal do cérebro é reconhecida pela ativação no processo cognitivo (CALVO, PAREDES e FIGUEROA-NAZUNO, 2018). Considerando o pico de atenção com base nas análises pupilares na Etapa 4 do procedimento *tradeoff*, um ERP foi plotado para admitir essa evidência (ver Gráfico 7). Em geral, o componente P300 ocorre frequentemente entre 250 e 350 ms após o estímulo ser apresentado (CALVO, PAREDES e FIGUEROA-NAZUNO, 2018), e as bandas de frequência *delta* e *theta* revelam essa evidência (SCHÜRMANN *et al.*, 2000).

A adaptação dependente do estado das oscilações *alpha* poderia desempenhar papéis funcionais paralelos. Os ritmos *alpha* estão envolvidos no processamento de informações pelos ciclos periódicos de amostragem, que se correlacionam fortemente com o desempenho perceptivo e o comportamento. A aceleração/desaceleração dependente do estado do pico *alpha* implementa uma estratégia de amostragem temporal, cuja taxa é ajustada em função das demandas das tarefas para aumentar o desempenho, otimizar a integração temporal e a representação das informações sensoriais. Assim, os aspectos e picos de atenção no procedimento *tradeoff* foram comprovados.

3.4.2 Estudo 4

O esforço cognitivo do decisor durante o procedimento de elicitação de preferências tende a ser afetado pela estrutura do problema de decisão, isto é, as características do conjunto de critérios? E, em caso positivo, como e qual o nível dessa influência? Apoiando-se nestas questões da pesquisa, métricas psicofisiológicas (pupilometria e atividade elétrica cerebral) foram aplicadas em tarefas experimentais de escolha para explorar a modelagem de preferências pelo procedimento *tradeoff*. De início, esta perspectiva assemelha-se as análises do Estudo I, mas este apresenta métricas complementares que reforçam os comportamentos anteriormente percebidos. Este estudo é composto da apresentação das hipóteses de pesquisa, seguida dos resultados e das discussões.

3.4.2.1 Hipóteses

O nível subjacente de processamento de informações detém um efeito relevante nas preferências dos indivíduos (KRUCIEN, RYAN; HERMENS, 2017). Conforme salientado, Weber e Borchering (1993) argumentaram que, nos casos em que o decisor considera muitos critérios no processo de tomada de decisão, há maior susceptibilidade à sobrecarga cognitiva. Pois o maior número de critérios tende a intensificar o fluxo de perguntas de escolha necessárias ao procedimento de elicitación.

A sobrecarga cognitiva representa quando os indivíduos são expostos a uma quantidade de informação que supera sua capacidade de processamento (BAWDEN; ROBINSON, 2009). Bröder, Newell e Platzner (2010) afirmam que o aprendizado durante uma escolha é afetado pelo requisito de recuperar informações de sugestões e mantê-las na memória de trabalho. Nesse contexto, Gamble *et al.* (2018) propuseram que a precisão da tomada de decisão reduz à medida que a carga cognitiva aumenta. Assim, a hipótese (H_7) desta pesquisa é formulada.

H_0 – O número de critérios no problema de decisão não impacta o esforço cognitivo do decisor para eliciar suas preferências através do procedimento tradeoff.

H_7 – Um grande número de critérios no problema de decisão exige maior esforço cognitivo do decisor para eliciar suas preferências através do procedimento tradeoff.

Além disso, o tipo de critério predominante no problema de decisão pode afetar o nível cognitivo durante o procedimento de elicitación. Para apoiar essa suposição, Hess e Polt (1964) argumentaram que a pupila apresenta maiores dilatações nas situações em que há um aumento da dificuldade, e como exemplo citam situações que envolvem contexto matemático.

Dessa maneira, Ehlers, Strauch e Huckauf (2018) correlacionaram o processamento aritmético às elevadas demandas cognitivas. Neste presente estudo, a proposta consiste em examinar se o problema de decisão que predomina uma estrutura de critérios quantitativos tende a exigir um maior esforço cognitivo do decisor na elicitación de preferências por procedimento *tradeoff*.

H₀ – A predominância de critérios quantitativos ou qualitativos no problema de decisão não impacta no esforço cognitivo do decisor para elicitare suas preferências através do procedimento tradeoff.

H₈ – A predominância de critérios quantitativos no problema de decisão exige mais esforço cognitivo do decisor para elicitare suas preferências através do procedimento tradeoff.

Uma análise cruzada entre as duas condições mencionadas (o tipo de critério e o número de critérios) consiste em um interessante ponto de pesquisa, pois condensa os pontos de dificuldades cognitivas para o decisor em cada uma das condições. Tomando como perspectiva prévia os resultados dos dois estudos, formula-se que:

H₀ – Problemas de decisão com 5 ou 6 critérios e um nível balanceado entre a natureza qualitativa e quantitativa dos critérios não impacta o esforço cognitivo para elicitare suas preferências através do procedimento tradeoff.

H₉ – Problemas de decisão com 5 ou 6 critérios e um nível balanceado entre a natureza qualitativa e quantitativa dos critérios requer ao decisor um nível confortável de esforço cognitivo para elicitare suas preferências através do procedimento tradeoff.

Para cada hipótese atrelada a este estudo, foram necessárias premissas específicas e completos detalhes estão apresentados no tópico a seguir.

3.4.2.2 Resultados

Neste estudo também foi utilizado os dados pupilométricos dispostos na Tabela 13. Analisando os dados, houve uma diferença significativa entre as seis etapas do procedimento de obtenção de preferências quanto as respostas da pupila ($F = 1824,4$, $p < 0,0000$). Em relação à análise cerebral, foi realizado o Índice de Assimetria Pré-Frontal (em inglês, *Prefrontal Asymmetry Index*, PAI) (ver Equação 9) com base nos eletrodos AF4 (pré-frontal direito) e AF3 (pré-frontal esquerdo) (RAMSØY *et al.* 2018).

$$PAI = \frac{\log(AF_3) - \log(AF_4)}{\log(AF_3) + \log(AF_4)} \quad (9)$$

A frequência *beta* (PAI_β) de valores mais positivos indicariam forte envolvimento do decisor com a atividade que está executando. Observando os efeitos das etapas individuais, o

PAI β apresentou desempenho superior ao PAI α em todas as etapas de elicitación de preferência, exceto na Etapa 1. No entanto, neste caso, os valores não apresentam diferença significativa ($t = -0.106$, $p = 0.916$). A seguir são apresentados os resultados para cada cenário de análise proposto pelas hipóteses de pesquisa.

É importante ressaltar que na Etapa 1 para a obtenção da função valor intracritério, mesmo utilizando o método da bisseção, houve uma tendência a linearidade. Pelos dados levantados, aproximadamente 71,6% das funções obtidas tiveram a característica linear predominante.

- **Cenário I – Número de critérios**

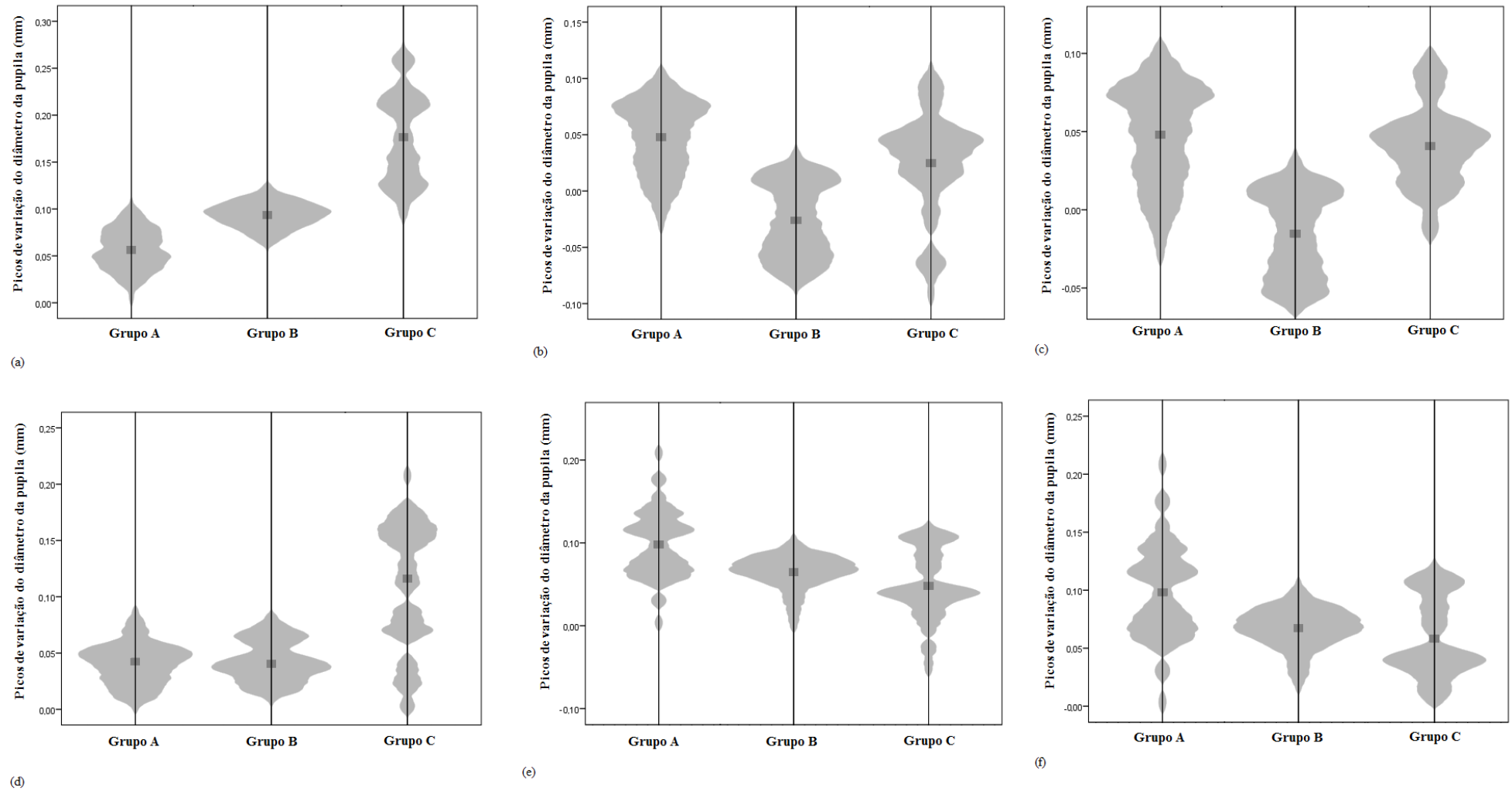
Este estudo tem como objetivo avaliar possíveis alterações no esforço cognitivo do decisor durante o procedimento de escolha de preferências, considerando o tamanho do problema de decisão com base no número de critérios. Para esse fim, os registros válidos dos problemas de decisão ($n = 66$) foram classificados em três grupos, da seguinte forma:

- Grupo A: problemas de decisão com três ou quatro critérios ($n_a = 22$ or 33.34%);
- Grupo B: problemas de decisão com cinco ou seis critérios ($n_b = 33$ or 50.0%);
- Grupo C: problemas de decisão com mais de sete critérios ($n_c = 11$ or 16.66%).

Para medidas pupilares, o Gráfico 9 expõe os resultados considerando os três grupos propostos. Na Etapa 5, a taxa de inconsistências varia ao longo da faixa de segmentação de critérios, a qual 50%, 84,8% e 54,5% correspondem às porcentagens para o Grupo A, Grupo B e Grupo C, respectivamente. Rasch, Louviere e Teichert (2015) apontou que problemas de decisão com maior número de atributos são mais suscetíveis de proporcionar uma crescente dificuldade para o decisor expressar suas preferências.

De acordo com o Gráfico 9, o número crescente de critérios no problema de decisão repercute em maior dispersão dos picos de amplitude da pupila durante o desenvolvimento do procedimento *tradeoff*. Para corroborar estatisticamente tais diferenças algumas análises foram desenvolvidas. Uma ANOVA de medidas repetidas com correção de *Bonferroni* foi aplicada para investigar a diferença entre as etapas do procedimento *tradeoff*, conforme a Tabela 14.

Gráfico 9 - Variações da amplitude da pupila para cada grupo por etapa experimental



Fonte: A Autora (2020).

Tabela 14 - Resultados da ANOVA repetida com correção de Bonferroni

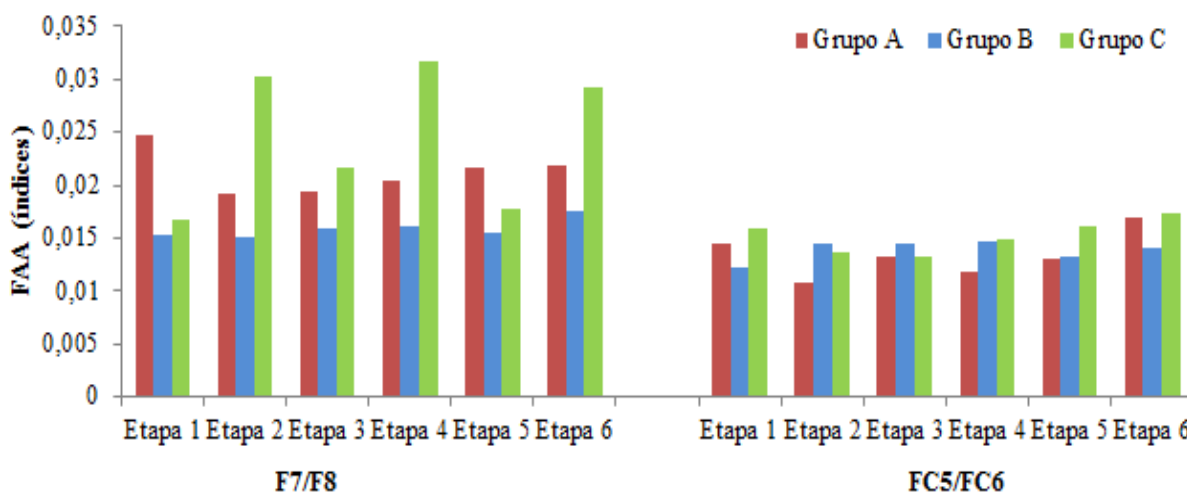
Fonte	Grupo A		Grupo B		Grupo C	
	(3 ou 4 critérios)		(5 ou 6 critérios)		(mais de 7 critérios)	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Etapa 1 * Etapa 2	387,23	0,000	959,99	0,000	9,80	0,002
Etapa 1 * Etapa 3	1681,71	0,000	617,85	0,000	17,59	0,000
Etapa 1 * Etapa 4	296,60	0,000	2551,69	0,000	10,85	0,001
Etapa 1 * Etapa 5	2361,95	0,000	1351,76	0,000	70,80	0,000
Etapa 1 * Etapa 6	1490,37	0,000	2100,83	0,000	968,61	0,000
Etapa 2 * Etapa 3	297,86	0,000	4,49	0,000	0,28	0,592
Etapa 2 * Etapa 4	54,67	0,000	401,45	0,000	1867,24	0,000
Etapa 2 * Etapa 5	428,89	0,000	98,46	0,000	22,75	0,000
Etapa 2 * Etapa 6	1124,43	0,000	258,04	0,000	2864,64	0,000
Etapa 3 * Etapa 4	951,52	0,000	2551,69	0,000	1942,23	0,000
Etapa 3 * Etapa 5	20,84	0,000	768,71	0,000	33,43	0,000
Etapa 3 * Etapa 6	340,63	0,000	749,99	0,000	1433,83	0,000
Etapa 4 * Etapa 5	834,24	0,000	344,63	0,000	47,53	0,000
Etapa 4 * Etapa 6	1493,15	0,000	39,19	0,000	1483,48	0,000
Etapa 5 * Etapa 6	296,85	0,000	58,82	0,000	1495,61	0,000

Fonte: A Autora (2020).

Diante dos dados na Tabela 14 percebe-se que para todas as etapas foram comprovadas a diferença estatística. Dessa maneira, pode-se inferir que o nível de esforço cognitivo requerido ao decisor difere entre as etapas do procedimento *tradeoff*.

Para os dados relativos a atividade cerebral, uma análise FAA foi realizada nos pares de eletrodos de F7/F8 e AF3/AF4, conforme o Gráfico 10. De acordo com Davidson *et al.* (1990), o ritmo *alpha* pode ser calculado pela diferença de atividade dos hemisférios do cérebro direito e esquerdo. A condição heterocedasticidade de normalidade não foi atendida, portanto, foi realizado um teste de hipótese estatístico não paramétrico dos postos sinalizados de Wilcoxon, com $\alpha = 0,03$. Para o par F7–F8 foi comprovada a diferença significativa para as categorias analisadas.

Gráfico 10 - Índices FAA de acordo o número de critérios



Fonte: A Autora (2020).

Portanto, têm-se novas comprovações que o número de critérios existentes na estrutura do problema de decisão tende a impactar o comportamento do decisor durante a modelagem de preferências. As análises com relação ao tipo predominante de critério são descritas a seguir.

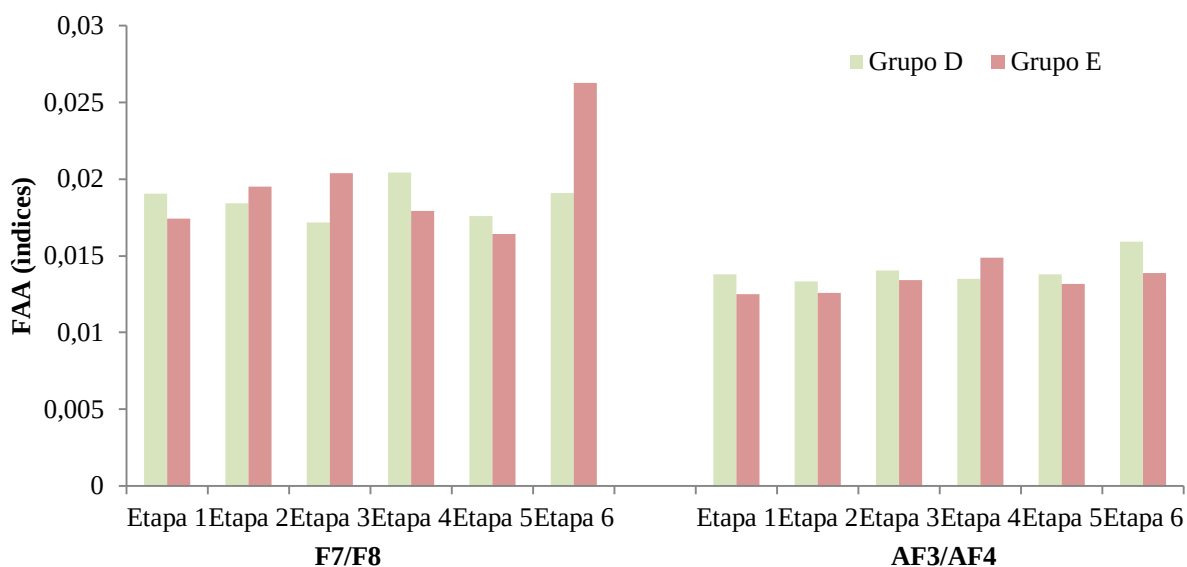
• Cenário II – Tipo predominante de critério

Este estudo tem como objetivo analisar o esforço cognitivo do decisor no procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências segmentando-o pelo tipo predominante de critérios (qualitativos e quantitativos) presentes no problema de decisão. Considerando a amostra ($n = 66$), foram propostas a segmentação com base na natureza dos critérios, sendo:

- Grupo D: problema de decisão com predomínio de critérios quantitativos ($n_d = 45, 68.2\%$);
- Grupo E: problema de decisão com predomínio de critérios qualitativos ($n_e = 21, 31.8\%$).

No geral, na atividade cerebral, uma análise FAA foi realizada nos pares de eletrodos de F7–F8 e AF3–AF4 (veja Gráfico 11).

Gráfico 11 - Índices FAA de acordo o tipo predominante de critério



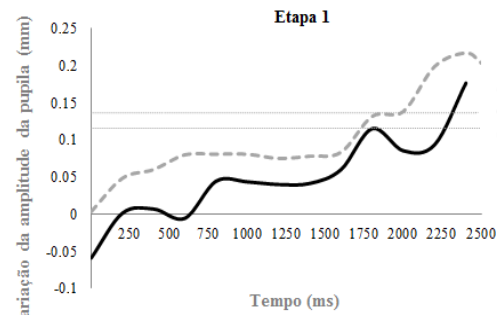
Fonte: A Autora (2020).

Conforme proposto, o esforço de cognição do decisor durante a elicitación de preferências deve ser mais intenso caso o problema de decisão apresente um conjunto predominante de critérios quantitativo (contexto numérico). Essa suposição foi confirmada em três das seis etapas experimentais. Assim, as mudanças no diâmetro da pupila foram representadas no Gráfico 12.

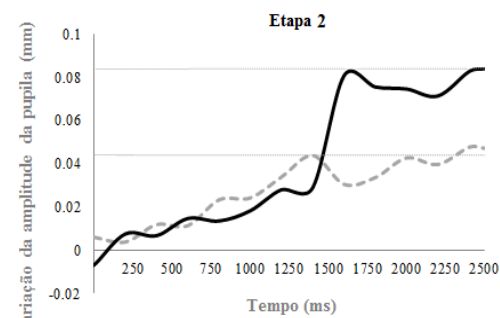
As representações em Gráfico 12, as formas de onda da pupila são plotadas em uma série temporal de 2500 ms após os estímulos. Para cada etapa, o comportamento da pupila seguiu um curso singular. Um teste *t* de amostras foi realizado para analisar se havia alguma diferença na dilatação da pupila entre os dois grupos. A suposição de homogeneidade de variância foi verificada e satisfeita pelo teste de Levene ($p < 0,05$). Para o Gráfico 11 tem-se que a condição heterocedasticidade de normalidade não foi atendida e foi realizado um teste de hipótese estatística não paramétrica, o teste de postos sinalizados de *Wilcoxon*, sendo $\alpha = 0,01$ para AF3–AF4, apresentou diferença significativa.

Considerando a Etapa 5, nas ocorrências de inconsistências ($n = 45$) foram encontradas evidências da relação moderada entre atributos quantitativos e inconsistências. Pois em 68,8% dos problemas de decisão que ocorreram inconsistências predominavam critérios quantitativos.

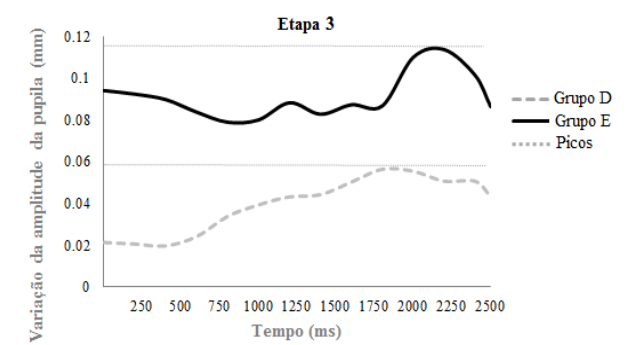
Gráfico 12 - Padrão de comportamento pupilar



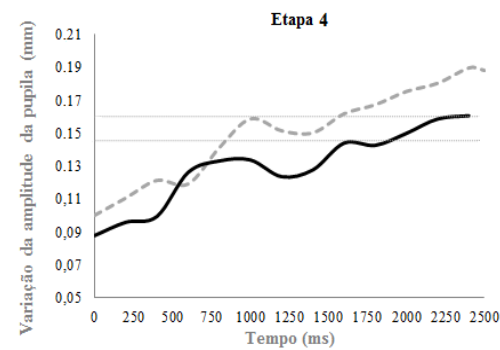
(a)



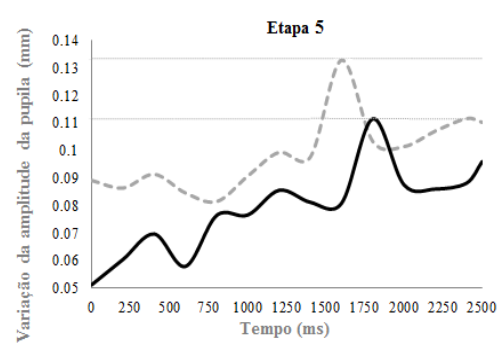
(b)



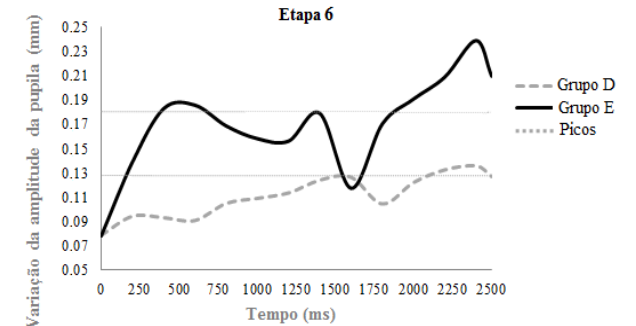
(c)



(d)



(e)



(f)

Fonte: A Autora (2020).

- **Cenário III – Análise cruzada para problemas de decisão com 5 ou 6 critérios**

Considerando os 33 problemas de decisão no Grupo B (5 ou 6 critérios), uma subsegmentação foi estabelecida com base na porcentagem de critérios quantitativos. Assim, são propostos três níveis: Grupo B₁ (problemas de decisão com 0, 1 ou 2 critérios quantitativos), Grupo B₂ (problemas de decisão com 3 ou 4 critérios quantitativos) e Grupo B₃ (problemas de decisão com 5 ou 6 critérios quantitativos).

De acordo com os dados pupilares, para as alternativas escolhidas no grupo B₂, há uma maior tendência a manter um nível consistente de esforço cognitivo ($F = 0,011$, $t = 1,256$, $p < 0,01$), mas o inverso ocorre para analisar alternativas no grupo B₃ ($B = -0.005$, $t = -1.595$, $p = 0,111$) e B₁ ($B = -0.007$, $t = -1.265$, $p = 0,091$). Além disso, para as análises cerebrais, os resultados das ANOVA de uma via para a amplitude de pico *alpha* do grupo B₂ mostram efeitos principais significativos entre ($AF3/AF4 = 10,6$, $p < 0,001$) e parietal ($F7/F8 = 15,9$, $p < 0,001$).

Uma compreensão do que os resultados apresentados trazem como significância ao procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências são apresentados no tópico 3.3.2.3.

3.4.2.3 Discussão dos resultados

Respostas pupilares e atividade cerebral apoiaram a análise cognitiva. A atividade experimental permitiu duas perspectivas principais quanto a estrutura do problema de decisão. No primeiro, o foco está no tamanho do conjunto de critérios. No segundo, o foco está relacionado à predominância numérica dos critérios. Uma análise adicional foi investigar a possível influência dessas condições no RT, em acordo com a Tabela 15. Dessa forma, o RT não apresentou maior variação considerando as particularidades de cada grupo.

Tabela 15 - Variação do RT (Estudo 4)

Etapas do experimento	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Grupo E
Etapa 1 (Avaliação intracritério)	514,02	762,29	1136,91	774,29	665,48
Etapa 2 (Ordenação dos critérios)	30,15	58,89	67,43	52,04	48,43
Etapa 3 (Exploração do espaço de consequências)	63,07	105,05	167,69	101,40	99,28
Etapa 4 (Obtenção da constante de escalas)	128,95	203,06	281,84	203,33	170,54
Etapa 5 (Verificação de inconsistências)	74,53	82,35	73,95	82,52	71,04
Etapa 6 (Resultados)	54,22	48,39	71,38	52,04	56,01

Fonte: A Autora (2020).

De acordo com a Tabela 15 para todas as etapas, o processo que envolveu problemas de decisão com critérios quantitativos exige uma mudança sutil no tempo em comparação com os problemas de decisão com critérios qualitativos.

Pommeranz *et al.* (2012) argumentaram que no processo de modelagem de preferências três componentes precisam ser combinados: a preferência do decisor, as declarações metodológicas de elicitación e o sistema. Os resultados podem fornecer *insights* em relação ao refinamento de declarações metodológicas (como a adição do método de bissecção para o procedimento *tradeoff*) e o sistema (como o *layout* das ferramentas de modelagem de preferências).

- **O efeito do número de critérios no comportamento do decisor**

Uma diferença significativa no esforço de cognição do decisor foi encontrada nas análises da variação do número de critérios no problema de decisão. Os resultados demonstrados no Gráfico 9 representam um indicador de que o número de critérios presentes no problema de decisão impacta no processamento de informações. Em uma perspectiva geral, os problemas de decisão do Grupo B tiveram um esforço cognitivo mais estável em comparação aos demais grupos. Por esses resultados, pode-se implicar que problemas de decisão com 5 ou 6 critérios representa a quantidade de critérios na qual o decisor analisa em uma condição cognitiva mais confortável, quando comparado as demais quantidades de critérios analisadas. Considerando os resultados apresentados, destaca-se que o esforço cognitivo do decisor aumenta durante o desenvolvimento da elicitación, mas não em escala linear.

- **O efeito do tipo de critério no comportamento do decisor**

Além disso, os resultados demonstraram diferença no esforço cognitivo do decisor para investigação, considerando o tipo de critério nos problemas de decisão. O estudo de Van der Wel e van Steenbergen (2018) apresentou algumas evidências de que o estímulo quantitativo é mais difícil que o estímulo qualitativo. Essa suposição concordou com as etapas 1, 3 e 5 das tarefas experimentais.

De acordo com as descobertas, os passos 2, 3 e 6 exigem um esforço cognitivo em problemas que predominam em critérios qualitativos. Com base nas declarações de *tradeoff*, existem etapas que exigem a capacidade analítica do decisor. Esses resultados podem estar vinculados à lacuna em um parâmetro decisivo para determinar o limite de preferência entre

critérios em situações de comparação. Com o uso de uma escala *Likert*, o decisor pode apresentar alguns casos de hesitação e indecisão para determinar aspectos para avaliar cada alternativa. Para ilustrar, considere o critério de custo, o decisor frequentemente conhece o valor máximo que está disposto a pagar; no entanto, no critério da taxa de satisfação, o decisor pode experimentar dúvidas para estabelecer uma faixa de preferência devido à influência de fatores subjetivos como capacidade de atendimento, velocidade, qualidade e outros. Além disso, em relação à Etapa 6, fazer escolhas sob valor numérico pode permitir um panorama geral de *performances* alternativas, que não é fácil em situações que predominam na análise subjetiva.

3.5 COMPARAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

As atividades experimentais desenvolvidas e apresentadas neste capítulo detiveram como intuito a análise do comportamento do decisor durante o procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências. O objetivo centra-se em melhor compreender os aspectos cognitivos do decisor em cada etapa do procedimento *tradeoff*. Tendo em vista promover *insights* e recomendações válidas acerca do processo decisório e do SAD, como serão pontuados no próximo capítulo.

Ambas as atividades experimentais foram desenvolvidas em condições ambientais semelhantes, em termos dos equipamentos, *layout* do experimento, métodos e procedimentos, bem como o tipo de participante. No entanto, dois pontos de diferença devem ser ressaltados. Um deles corresponde ao *design* do SAD para o procedimento *tradeoff*, conforme já pontuado. E a outra diferença reside na condição física/mental dos participantes. No Experimento I, 64,2% dos participantes relataram situação de cansaço, percentual esse apenas de 13,8% para os participantes do Experimento II. Em termos da média da duração de tempo em horas de sono, no Experimento I a média foi de 06 h 14 min e para o Experimento II a média foi de 06 h 41 min., portanto a sensação de cansaço para ser explicada, deve ir além da consideração da duração do sono, e englobar fatores como o excesso de atividades acadêmicas. O Experimento I foi realizado com o avançar do semestre e muitos participantes encontravam-se nos períodos destinados aos exames escolares. E outro fator é que no Experimento I alguns participantes o realizaram no período noturno, enquanto o Experimento II teve sua aplicação exclusivamente no período matutino e vespertino.

Diante desses dados percebe-se que o ambiente não pode ser analisado de forma estática nos processos decisórios. Nessa perspectiva de ambiente, também se estende aos fatores subjetivos ao decisor. Portanto, compreender a relação entre aspectos cognição e o

procedimento *tradeoff* de eliciação de preferências possibilitou maior e melhor entendimento da complexidade do processo decisório e suas dimensões.

De modo geral, de acordo com ambos os experimentos, nota-se que o procedimento *tradeoff* de eliciação de preferências tende a exigir um aumento de esforço cognitivo ao longo do seu desenvolvimento. Isto se deve, pois com o decorrer do processo há maior comprometimento em que a racionalidade, a capacidade de tratamento das informações, a atenção e a percepção são continuamente exigidos, buscando o êxito no procedimento.

A maior demanda cognitiva foi comprovadamente aos dois experimentos associados a etapa de “Obtenção das constantes de escala”, ou seja, a etapa em que o decisor avalia os critérios aos pares para identificar os respectivos pontos de indiferença. Foi devidamente descoberto que essa etapa repercute num sentido de desatenção e desinteresse. E fatores que ajudam a explicar esses comportamentos é justamente à morosidade quanto à execução, o elevado quantitativo de questões de escolha e mesmo a dificuldade diante desse tipo de questionamentos.

Dentre essas razões tornou-se tão importante a discussão acerca da estrutura dos problemas de decisão. Comprovadamente, por ambos os estudos, verificou-se que a quantidade de critérios e o seu balanceamento quanto à natureza tendem a influenciar o desempenho cognitivo do decisor. Pois torna possível um equacionamento entre o nível cognitivo requerido e a satisfação com o desempenho do procedimento *tradeoff* de eliciação de preferências. Essas características geraram recomendações e *insights*, conforme estão apresentados no Capítulo 4.

Por sua vez, a inserção do método da Bisseção para a obtenção das funções intracritério não surtiu um efeito na dimensão do que era esperado. Isto, pois se desejava que as inconsistências reduzissem em percentual considerável. E não foi bem esse dado obtido, pois no Experimento I na qual as funções valores foram previamente delimitadas como linear a taxa de inconsistência foi de aproximadamente 78%, enquanto no Experimento II, diante do método da Bisseção esse percentil atingiu 68,8%. Além de ser uma redução pequena, a inserção desse método proporcionou elevado custo cognitivo, conforme os dados apresentados. Pois, nesta etapa no Experimento II juntamente com a etapa da “Obtenção das constantes de escala” consistiu nos dois eixos de maior esforço de atenção. Ademais, conforme mostrado, mesmo os participantes modelando suas funções intracritério pelo método da Bisseção, a tendência prevaleceu para o comportamento linear.

Além disso, do modo como a etapa da “Verificação das inconsistências” está desenhada soou como um ponto conflitante para os participantes. Em geral, os participantes

apresentam dificuldades para compreender as propriedades da representação gráfica que ilustra a proposição da mudança do sentido da preferência na inequação. Em uma visão global, boa parte dos participantes de ambos os experimentos se sentiram satisfeitos e confiantes com os resultados obtidos.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

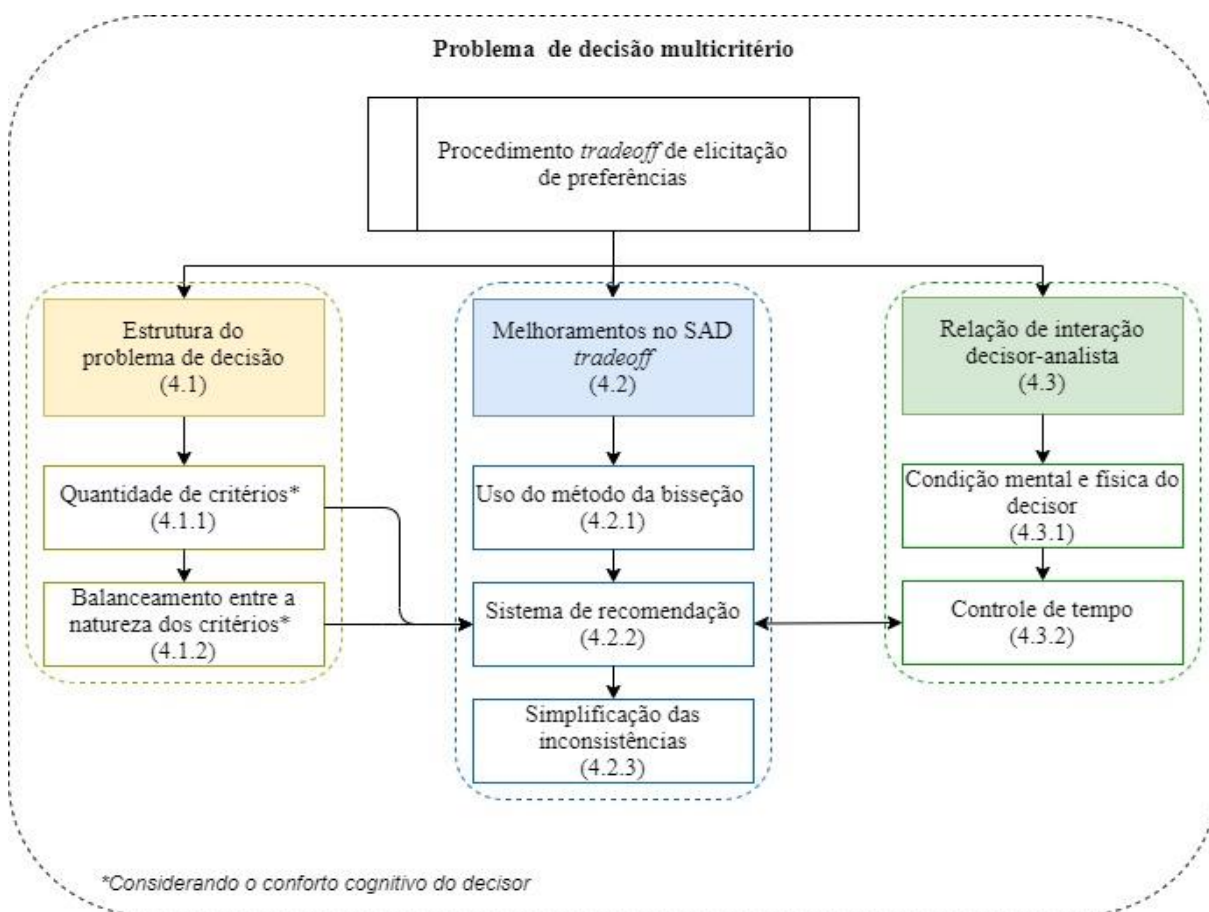
Os problemas de decisão são caracterizados como natureza complexa, pois envolvem a análise de variados atributos e alternativas, de modo simultâneo. Além disso, o processo de tomada de decisão também está submetido a uma direta influencia por aspectos inconscientes/subjetivos do decisor. Em geral, as ferramentas tradicionais de apoio à decisão não foram construídas considerando análises comportamentais para contrabalançar seu nível de eficiência e necessário esforço cognitivo para sua utilização.

Os resultados desse estudo têm implicações relevantes para a interpretação e delineamento da plataforma de decisão de elicitação de preferências, pois sugerem que algumas condições precisam ser controladas para evitar a sobrecarga cognitiva e, conseqüentemente, desviar a atenção. Além disso, outras contribuições incluem: (1) Permitir a introdução de aspectos da investigação do comportamento do decisor para o procedimento *tradeoff* de elicitação aditiva de preferências; (2) Estudar o método de bissecção como alternativa para identificar a função de valor intracritério com mais precisão; (3) Desenvolver análise sobre a estrutura dos problemas de decisão, quanto ao seu conjunto de critérios, conhecendo-os em meio a análises de esforço cognitivo; (4) Proporcionar melhorias no desenvolvimento de ferramentas de apoio a decisão para a modelagem de preferências do decisor.

4 INSIGHTS E RECOMENDAÇÕES

Neste Capítulo os resultados das atividades experimentais descritas no Capítulo 3 são aplicados com intuito de gerar contribuições para o processo de tomada de decisão multicritério, particularmente com o uso do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências. Aceitar ou rejeitar das hipóteses formuladas e discutidas no Capítulo 3 proporcionaram os subsídios para as propostas apresentadas na Figura 30. As contribuições desenvolvidas compreendem *insights* e recomendações em três vertentes – estrutura do problema de decisão, relação de interação decisor/analista e melhoramentos no desenho do SAD *tradeoff*.

Figura 30 - Fluxograma dos *insights* e recomendações



Fonte: A Autora (2020).

De modo geral, os modelos de processo de tomada de decisão vêm ganhando cada vez mais notoriedade, especialmente ao se considerar o volume crescente de informações que precisam ser condensados atualmente. Outra variável importante no processo decisório consiste na consideração das informações ambientais e comportamentais a quais o(s)

decisor(es) estão susceptíveis. Percebe-se que a perspectiva do julgamento e tomada de decisão mudou seu foco do que os indivíduos escolhem para como decidem (JOHNSON; RATCLIFF, 2014).

A tomada de decisão pode ser um processo complexo e mesmo que a teoria da decisão forneça prescrições claras sobre como ter decisões ideais, os indivíduos divergem dessa otimização, e dentre as justificativas estão o viés substancial da situação e os aspectos cognitivos (GARDNER, 2019). A técnica de modelagem de preferência (por exemplo, medição absoluta, comparações pareadas, julgamentos ordinais, classificações, escolha) corresponde a um elemento-chave nos sistemas de apoio a decisão multicritério (ALOYSIUS *et al.*, 2006).

Um ponto em comum aos diversos formatos do processo decisório consiste que, em diferentes níveis, as decisões anteriores podem impactar as decisões atuais e/ou futuras (NARUSE *et al.*, 2019). De modo a fazer um paralelo dessa assertiva com a modelagem de preferência, pode-se afirmar que as preferências anteriores do decisor podem impactar nas modelagens de preferências atuais e futuras. Esse contexto tona-se ainda mais complexo ao ser ponderado que a modelagem de preferências é um processo dinâmico e construído paulatinamente à medida que se prossegue o processo de decisão.

Os indivíduos tomam decisões entre várias alternativas diante da ponderação das *performances* de valores para todos os atributos e sua posterior soma, sendo então as pontuações comparadas (KEENEY; RAIFFA, 1976). Nessa perspectiva abordam-se decisões estratégicas compensatórias. Mas, quais os reais custos em termos de processamento cognitivos desse tipo de estratégia? Será que são completamente válidos? E a complexidade envolvida das ferramentas para esse tipo de decisão deve ser considerada? Quais os *insights* que estudos comportamentais podem repercutir para as atuais pesquisas na perspectiva multicritério com relação a eliciação das preferências do decisor? Assim, perguntas desta natureza apresentam-se respondidas ao longo deste capítulo, tomando como base os resultados e discussões dos experimentos realizados nessa pesquisa, conforme foram detalhados no Capítulo 3, bem como os achados literários atuais e de relevância para a área.

A Figura 30 serve como base para a apresentação dos *insights* e recomendações ao longo deste Capítulo. É importante reforçar que a abordagem discutida na pesquisa consiste no procedimento *tradeoff* de eliciação de preferências, portanto, as considerações são fundamentadas e comprovadas para tal procedimento.

4.1 *INSIGHTS* E RECOMENDAÇÕES PARA A ESTRUTURA DO PROBLEMA DE DECISÃO

O processo de tomada de decisão é caracterizado como sucessivos estágios de processamento de tarefas, e a capacidade humana de lidar com várias tarefas em paralelo e alternar entre necessidade externa e escolha interna é uma consequência da capacidade do controle cognitivo (KESSLER; MEIRAN, 2010). Nesta seção são apresentados *insights* em termos da modelagem de preferências a ser adotada durante a construção dos problemas de decisão multicritério. As análises consistiram quanto ao conjunto de critérios e subdividiram-se em recomendações quanto à quantidade e a características de sua natureza.

4.1.1 **Recomendações para a quantidade de critérios no problema de decisão**

Os Estudo 1 e Estudo 4 mostraram que problemas de decisão com cinco ou seis critérios apresentaram um nível de esforço cognitivo mais estável em relação as demais quantidades de critérios analisadas para a elicitación de preferências via procedimento *tradeoff*. Essa estabilidade está associada ao nível de atenção, ao fator engajamento e a capacidade de memória de trabalho que é requerido ao decisor com o progresso das atividades da modelagem de preferências.

Este fato é essencialmente importante ao destacar pesquisas como a desenvolvida por Kiani, Churchland e Shadlen (2013), que numa perspectiva temporal, indicaram que as informações mais recentes exercem maior influência na precisão das decisões, comparativamente às fontes de informações mais antigas. Portanto, essa recomendação quantitativa de critérios tende a evitar um “estresse cognitivo” de modo que dificulte a precisão sobre a modelagem das preferências. Nesse contexto, Causse *et al.* (2019) afirmam que em ambientes dinâmicos, os indivíduos devem monitorar e integrar constantemente as informações recebidas para otimizar sua tomada de decisão.

Dessa maneira, a proposição é que inicialmente o decisor esteja à vontade para estruturar o problema de decisão sob sua perspectiva natural. Finalizada a construção preliminar do problema de decisão o papel do analista deve emergir. Sua função consistirá em verificar a quantidade de critérios até então existente no problema de decisão, e considerar uma dentre as três seguintes diretrizes:

- *Problema de decisão com cinco ou seis critérios*: o analista confere o aval de validação pela estrutura do problema de decisão encaixar-se nos parâmetros recomendados, considerando o conforto cognitivo ao decisor;

- *Problema de decisão com menos de cinco critérios:* o analista confere o aval de reavaliação ao decisor, de modo que tais atores, em conjunto, busquem verificar se algum atributo de avaliação faltou ser considerado. Nos casos em que o decisor apresente dificuldades para compreender completamente a situação problema, o analista pode considerar a aplicação de abordagens suplementares, tais como os PSM. Essas abordagens permitem conhecer amplamente a situação de decisão, analisando-a de maneira inter-relacionada. Estudos como Pereira e Moraes (2020) e Pereira, Moraes e Figueira (2020) apresentam modelos de sucesso na aplicação de PSM, especialmente o SODA, para a identificação dos critérios de um problema de decisão;
- *Problemas de decisão com mais de seis critérios:* o analista confere o aval de reavaliação ao decisor, de modo que tais atores em conjunto, busquem verificar se algum dos atributos considerado no problema de decisão apresenta-se como redundante. Caso haja a presença de atributos com essas características e, que após a devida remoção o problema de decisão seja composto por cinco ou seis critérios, a situação de divergência encontra-se resolvida. No entanto, caso a remoção de atributos não seja possível, aconselha-se apresentar ao decisor a proposta de executar o processo de modelagem de preferências normalmente, no entanto, com o devido conhecimento que maior esforço cognitivo tende a ser requerido.

Diante dessas caracterizações verifica-se a importância de se considerar a quantidade de critérios em que o decisor sente-se mais confortável de avaliar (entre cinco ou seis) para a modelagem de preferências via procedimento *tradeoff*. Outros pontos de análise são apresentados nos tópicos a seguir.

4.1.2 Recomendações para a natureza do conjunto de critérios no problema de decisão

Dum e Risko (2019) pontuam que um dos princípios fundamentais da psicologia humana é que os seres humanos tendem a usar o esforço como determinante crítico em suas escolhas entre diferentes cursos de ação. Portanto, deve-se haver um equacionamento em termos dos níveis de dificuldade para as atividades de tomada de decisão. Isto, tendo em vista evitar o desinteresse/ desengajamento, seja pelo nível de facilidade ou dificuldade excessivas.

Diante dos Estudo 1, Estudo 2 e Estudo 4 foram proporcionadas conclusões acerca do balanceamento entre a natureza do conjunto de critérios do problema de decisão, considerando o contexto do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências. Deve haver um equilíbrio entre a quantidade de critérios quantitativos e qualitativos. Em média,

recomenda-se que o problema de decisão apresente até 67% de critérios quantitativos, tendo em vista proporcionar uma situação confortável ao decisor durante a modelagem das suas preferências.

É importante lembrar que o Estudo 2 apresentou, especialmente, uma análise sob o conjunto de critérios com perspectiva financeira, que por sua vez, corresponde a um tipo de critério quantitativo. Dentre as análises realizadas foi possível verificar que tais critérios financeiros tendem a requerer maior esforço cognitivo frente aos demais tipos de critérios. Esse aspecto tende a ser uma informação de suporte a determinação de um limite de atributos quantitativos a conter na estrutura do problema de decisão, conforme apresentado acima

Diante do questionário aplicado após a finalização do Experimento II (ver Apêndice C) é possível auferir outras evidências que comprovam esse *insight* para o balanceamento de natureza do conjunto de critérios. Como primeiro ponto, considera-se a caracterização do estado do participante quanto ao nível de estresse. Para os casos em que os problemas de decisão apresentaram um conjunto com 80% ou mais de critérios quantitativos, em 64,3% dos casos os participantes declararam um nível de estresse superior a 50 pontos (numa escala de 0 a 100 pontos). Em similar perspectiva, foi analisado o nível de aborrecimento, sendo obtido que em 50% dos casos os participantes também declararam um nível superior a 50 pontos (numa escala de 0 a 100 pontos).

Dessa forma, tal como os *insights* descritos no tópico 4.1.1 deve-se deixar o decisor livre para estruturar o problema de decisão sem qualquer limitação. Posteriormente, emerge o papel do analista para verificar como ocorreu a distribuição da natureza dos critérios listados ao problema de decisão. Essa análise pode acontecer concomitantemente ao da seção 4.1.1. Assim, caso o problema se apresente com um percentual até 67% de critérios quantitativos receberá o aval de aceitabilidade do analista. Caso contrário, o analista ofertará o aval de reavaliação. De modo que, em conjunto, tais atores irão analisar o problema de decisão e, se possível propor uma adequação.

Nos casos em que não for possível o enquadramento no nível de critérios quantitativos, o analista deve alertar ao decisor para maiores dificuldades que poderão acontecer no procedimento de modelagem das preferências. Deve-se salientar que uma “sobrecarga cognitiva” pode ocorrer devido ao estresse provocado pela demasiada quantidade de atributos aritméticos considerados.

Outro fator importante a ser recomendado compreende o uso adequado das escalas de valor acerca dos critérios. Deve-se buscar estabelecer os parâmetros de análise dos critérios de acordo com sua natureza. Exemplificando, para um critério de natureza monetária, tal como

investimento, é aconselhável evitar avaliar as alternativas com escala verbal do tipo, 1 correspondente a baixo investimento, e 5 correspondendo a um alto investimento. Mesmo que não se detenham os valores monetários exatos, é recomendado propor aproximações em custos monetários. Isto, evita situações de conflitos cognitivos, e proporcionam melhor representatividade às características do atributo.

4.2 *INSIGHTS* E RECOMENDAÇÕES PARA O DESENHO DO SAD *TRADEOFF*

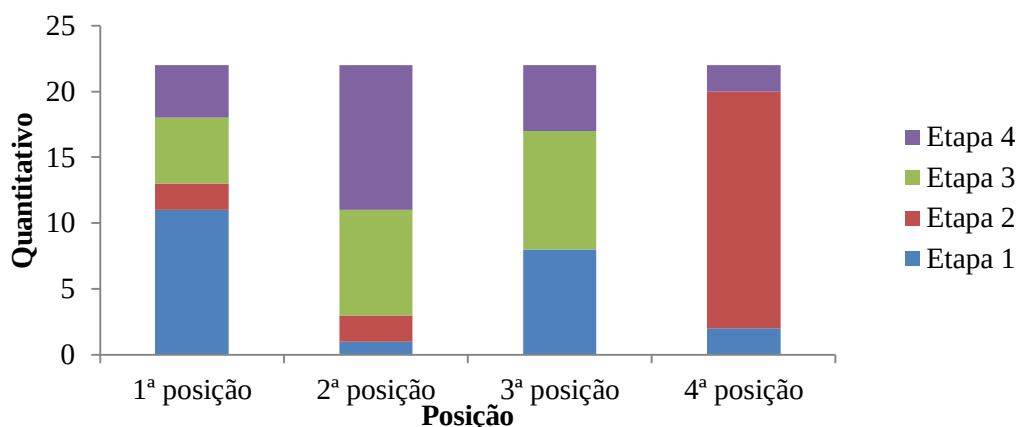
Nesta seção apresentam-se as contribuições desta pesquisa em termos de sugestões para o SAD *tradeoff*. As contribuições envolvem desde mudanças na modelagem da função valor intracritério, estabelecimento de um sistema de recomendações e mudanças quanto ao entendimento das inconsistências, conforme os tópicos a seguir.

4.2.1 Uso do método da bisseção no procedimento *tradeoff*

De acordo com os resultados apresentados no Capítulo 3, especialmente no Estudo 3, a etapa da bisseção para a identificação da função intracritério repercutiu em um elevado esforço cognitivo. As análises estatísticas juntamente com o Gráfico 6 comprovam o fator de desengajamento e desinteresse por parte do decisor. Ademais, o cruzamento dos picos das bandas de *alpha* e *theta* repercutem num estado de relaxamento. As propriedades das métricas pupilométricas também apontaram estresse cognitivo ao longo desta etapa do procedimento. E, tem-se que mais de 50% das funções intracritério identificadas pelo método da bisseção no Experimento II apresentaram uma tendência para a linearidade.

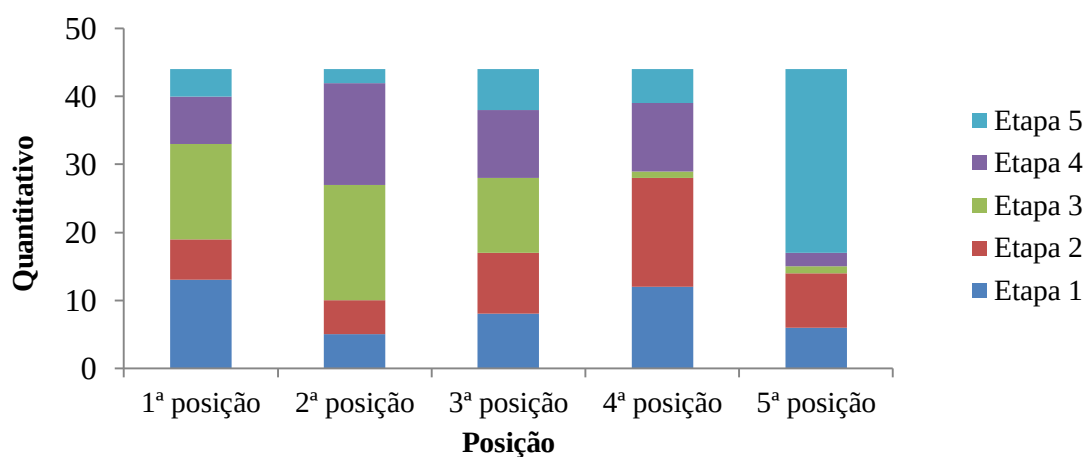
Adicionalmente, de acordo com o questionário de percepção aplicado após o Experimento II (Apêndice C) tem-se aspectos a serem ressaltados nessa perspectiva. Uma das questões solicitava que o participante construísse uma ordenação decrescente do seu julgamento quanto ao nível de dificuldade de realização do procedimento *tradeoff*. Como a etapa dos resultados não requeria ação por parte do participante, apenas a sua análise, ela não foi incluída. Portanto, considerando dois grupos, um grupo dos problemas resolvidos com a ausência de inconsistência ($n = 22$) e outro grupo de problemas resolvidos na presença de inconsistência ($n = 44$), duas representações foram construídas, o Gráfico 13 e Gráfico 14, respectivamente.

Gráfico 13 - Ordenação de nível de dificuldade na ausência de inconsistência



Fonte: A Autora (2020).

Gráfico 14 - Ordenação de nível de dificuldade na presença de inconsistência



Fonte: A Autora (2020).

De acordo com ambos os gráficos (Gráfico 13 e Gráfico 14), em especial para os problemas que não detiveram inconsistência em sua resolução, a etapa da bisseção apresentou uma posição de destaque quanto à classificação por dificuldade. Portanto, esses dados consistem em uma nova evidência que esta etapa deve ser submetida a uma remodelação tendo em vista obter maior efetividade ao procedimento *tradeoff*. De forma sugestiva, recomenda-se uma etapa de “Obtenção da função intracritério” mais fortemente delineada, sendo composta por duas partes:

1. Identificação dos critérios cuja classificação na visão do participante seja predominantemente linear: Assim, o participante iria selecionar todos os critérios

que julga ter comportamento linear. Não existindo nenhum tipo de restrição, a qual, o participante poderia selecionar todos os critérios, ou mesmo nenhum dos critérios. É importante que a seleção dos critérios ocorra de maneira individual, por dois motivos: manter a atenção do decisor e proporcionar a construção da imagem no plano para o critério em análise, conforme a Figura 24.

2. Para os demais critérios, se houver, que não tenham sido previamente classificados com comportamento linear deve-se dar oportunidade para o participante determinar a função intracritério via método da bisseção. Neste ponto, recomenda-se o cuidadoso acompanhamento do procedimento por parte do analista quanto ao desenvolvimento desta etapa.

Dessa forma, tende-se a ter uma redução de tempo de execução desta etapa, bem como deter o foco da atenção apenas nos pontos de maior criticidade nos critérios que não seguem a tendência linear. Por fim, outra observação consiste na proposição da identificação ao longo das demais etapas do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências o tipo de função que o critério obedece. Pois pode-se facilitar as análises, especialmente num viés comparativo entre os critérios, tal como acontece nas questões de escolhas.

4.2.2 Disponibilizar o sistema de recomendações

Especialmente, de acordo com o Estudo 3 pode-se verificar que o demasiado número de questões de escolha na Etapa “Obtenção das constantes de escala” tende a proporcionar uma falta de engajamento e desatenção ao decisor. E o aspecto da morosidade desta etapa consiste no principal aspecto justificativo. Diante dos resultados obtidos no Capítulo 3 pode-se montar um sistema de recomendações tendo em vista a melhoria na atual versão do SAD *tradeoff*.

Esse sistema de recomendações tomou, prioritariamente, como base os resultados do Estudo 3 na qual gerou-se uma recomendação prévia acerca da quantidade de interações por critério na referida etapa. Então, diante de um aprofundamento das discussões realizadas pode-se propor parâmetros complementares aqueles obtidos no Estudo 3. Tais parâmetros, juntamente com os índices de variação das escolhas, resultaram em três patamares de nível de decisão para cada par de consequências consideradas, sendo eles:

- Decisão sob incerteza: $\begin{cases} \text{Até 5 critérios} \rightarrow p' \leq 5 \text{ interações} \\ 6 \text{ ou mais critérios} \rightarrow p' \leq 4 \text{ interações} \end{cases}$

- Decisão sob condições normais: $\begin{cases} \text{Até 5 critérios} \rightarrow 4 < p' < 6 \text{ interações} \\ 6 \text{ ou mais critérios} \rightarrow p' \leq \frac{x}{2} + 1 \text{ interações} \end{cases}$
- Decisão sob cautela: $\begin{cases} \text{Até 5 critérios} \rightarrow p' > 6 \text{ interações} \\ 6 \text{ ou mais critérios} \rightarrow p' \leq \frac{x}{2} + 2 \text{ interações} \end{cases}$

É importante caracterizar cada tipo de decisão. A decisão sob incerteza caracteriza-se pela situação na qual o decisor ainda não dispõe de uma quantidade de informações confiáveis para a modelagem de suas preferências. Consequentemente não se pode atribuir com confiança as probabilidades de resultados. Em termos da decisão sob condições normais, o decisor alcançou um volume maior de informações e pode determinar com maior certeza as probabilidades de resultados das suas preferências. E a decisão sob cautela corresponde ao caso na qual o decisor conhece com certeza a totalidade das suas preferências, visto o alto volume de informações coletados.

Esse sistema de recomendações tem como propósito principal evitar o número excessivo de questões de escolha no procedimento *tradeoff* requerido em razão da necessidade em declarar o valor exato da indiferença na comparação pareada. Para o decisor, sem qualquer tipo de parâmetro é comum ter que avaliar situações que não sejam estritamente decisivas para o processo global de tomada de decisão. Como ilustração, considere a compra de um equipamento e a faixa de preço de R\$ 10.000,00 a R\$ 19.500,00, durante esta etapa, uma questão de escolha possível é analisar se o decisor prefere gastar R\$ 10.000,00 ou R\$ 10.050,00? Para os resultados de elicitación de preferência, a resposta desta pergunta de escolha provavelmente não afeta, independe da classificação e critérios alternativos na escala de constantes.

Dessa forma durante o procedimento desta etapa seria apresentado ao decisor a série de recomendações. Enquanto nenhum dos parâmetros fosse satisfeito seria apresentado a mensagem: “Continue com o procedimento de elicitación”. Quando um dos parâmetros, ou mesmo ambos, fossem satisfeitos, a mensagem apareceria: “Computado valores para a decisão sob incerteza”, “Computado valores para decisão sob condições normais”, ou “Computado valores para decisão sob cautela”. As mensagens seriam apenas em caráter de aconselhamento, o que não significaria a obrigatoriedade do decisor em aceitá-las. Uma sugestão para apresentação dessas informações no *layout* do SAD *tradeoff* está representado na Figura 31.

Figura 31 - Apresentação do sistema de recomendação

Fonte: Adaptado SAD *tradeoff*.

Com relação a esse sistema de recomendação, o analista também deve ficar atento para aconselhar o decisor da melhor maneira possível, visando a maior satisfação e efetividade para com a obtenção de um resultado para a elicitação das preferências. Outro fator positivo acerca dessas recomendações seria em propiciar um certo nível de segurança ao decisor. Visto que ao saber que haveria um sistema acompanhando e plausível de dar *feedbacks* em tempo real, o decisor poderá tornar-se mais aberto e tranquilo para tomar as suas decisões.

4.2.3 Simplificar a apresentação das inconsistências

A mudança geral nas preferências pode resultar de uma combinação de processos de ajustes durante e após a escolha. E, de certa maneira, tem-se a suposição de que a mudança de preferência seja um processo imediato, automático e inconsciente (VOIGT *et al.*, 2019). De modo geral, a maioria desses desvios da racionalidade, geralmente chamados de vieses, se deve a uma capacidade limitada de processar informações relevantes para o problema de decisão (por exemplo, lembranças de experiências anteriores, atributos dos estímulos de escolha ou probabilidades de ganhos e perdas em potencial). Isso geralmente leva ao excesso de peso de algumas variáveis relevantes em detrimento de outras (MILOSAVLJEVIC *et al.*, 2012).

De acordo com o Gráfico 14 o momento direcionado a “Exploração do espaço consequências”, que neste experimento corresponde a Etapa 3, correspondeu a etapa que na opinião dos participantes apresentou maior nível de dificuldade. E são justamente os pares das

perguntas de escolhas desta etapa que são “solucionados” nas situações de inconsistências. Outro dado que evidencia certa dificuldade nesta etapa, está relacionado ao questionário aplicado no Experimento II (ver Apêndice C). Nele questiona-se ao participante se em algumas das etapas as informações foram fornecidas com uma margem de desconfiança. Apenas uma amostra de 04 participantes apontou resposta positiva, sendo destes 75% classificaram que a imprecisão esteve relacionada à Etapa 3 e a Etapa 4.

Portanto, como recomendação solicita-se uma intervenção mais direta e encarando uma simplificação metodológica por parte do analista para a Etapa 3. Explicando, questão a questão ao participante. Como *insight* pode-se adicionar na Etapa 5 (Verificação das inconsistências) a exemplificação as inequações nos casos das inconsistências, pois da forma como é apresentado atualmente, apenas uma descrição é realizada da situação. Portanto, as visualizações das equações podem garantir maior confiabilidade nos julgamentos.

4.3 *INSIGHTS* E RECOMENDAÇÕES PARA A INTERAÇÃO ENTRE O ANALISTA E O DECISOR

Nesta seção são apresentadas as recomendações geradas a partir dos resultados e discussões apresentados no Capítulo 3 no que tange o aspecto da interação entre o analista e o decisor. Estas recomendações abrangem as análises desde a perspectiva das condições biológicas dos participantes até a análise da posição do analista frente ao avanço demasiado de tempo para a realização do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências.

4.3.1 Analisar as condições físicas e mentais dos decisores

Schneider (2018) argumenta que o controle cognitivo representa o ajuste dinâmico na seletividade atencional para conduzir o processamento de informações para a busca de um objetivo. De acordo com os resultados auferidos, a combinação dos dados pupilométricos e as medições de banda *theta*, observou-se um comportamento de maior envolvimento e atenção para os participantes que não consumiram medicamentos e não se declararam cansados. Os que apenas se declararam cansados, mas sem a ingestão de medicamentos tiveram melhor rendimento cognitivo, mas mesmo assim inferior aos que declararam não terem realizado a ingestão de nenhum tipo de substância medicamentosa. Outra análise realizada condiz à quantidade de horas de sono na noite anterior ao experimento e o desenvolvimento das etapas do procedimento *tradeoff* de elicitação de preferências. Foi verificada uma correlação positiva entre as variáveis relativas as horas de sono e a maioria das etapas do processo *tradeoff* de elicitação de preferências.

Dessa forma, tem-se como *insights* a necessidade do analista estar atento as condições biológicas dos decisores. De modo que nos casos em que os participantes não se encontrarem em boas condições para a realização do procedimento, o indicado corresponde a postergar a sua execução. De modo geral, esta postergação seria para um próximo dia na qual o participante já estivesse estabilizado. Esses *insights* são essenciais para manter a consistência dos julgamentos e a confiabilidade das preferências durante o procedimento de elicitación, diante de uma condição propícia em termos cognitivos ao participante.

4.3.2 Considerar a interferência da variável tempo de resposta

Em geral, para implementar uma estratégia de decisão a mente humana é submetida a altos custos dada a intensa dinâmica de interação entre o ambiente de tarefas e os recursos cognitivos. Assim, mesmo decisões simples, podem ser onerosas cognitivamente (FECHNER; SCHOOLER; PACHUR, 2018). E este custo tende a ser maior que o desejado se o decisor passar a considerar um tempo extraordinário para a solução dos questionamentos.

Por isso, recomenda-se ao analista o acompanhamento cuidadoso do desenvolvimento do procedimento *tradeoff* de elicitación de preferências. Ao notar que o decisor demora para responder em determinado ponto pode ser um sinal de alerta para a sua interferência. O decisor pode estar encontrando dificuldades para a interpretação e a realização de alguma das atividades propostas.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados os principais pontos de contribuição desta pesquisa, seja em termos teóricos e práticos no que tange a modelagem de preferências via procedimento *tradeoff*. De maneira inovadora foram propostas melhorias tanto no procedimento quanto no SAD *tradeoff* a partir dos resultados das investigações sobre aspectos subjetivos que impactam o decisor durante o processo de tomada de decisão. Desta maneira, almeja-se maior objetividade e eficiência na obtenção de resultados, considerando inclusive os níveis de esforço cognitivo exigido ao decisor.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são detalhadas as considerações finais decorrentes do desenvolvimento desta pesquisa. As limitações e as perspectivas para trabalhos futuros também são apresentadas.

5.1 CONCLUSÕES

A neurociência consiste nos estudos dos componentes do sistema neural e sua influência psicofisiológica no corpo humano. Conforme apresentado, as perspectivas de estudo no campo da neurociência são diversas, e consequentemente, abarcam aspectos biológicos, comportamentais, econômicos, dentre outros. É notável que o campo na qual esta tese foi desenvolvida, da neurociência cognitiva aplicada aos processos de tomada de decisão, é promissor e tende a proporcionar diversos ganhos práticos e teóricos.

Nesta pesquisa foram realizadas duas atividades experimentais tendo como suporte equipamentos de neurociência, sendo eles, o EEG da *Emotiv EPOC*® e o *eye-tracker* X120 da Tobii Studio. Como fundamentos metodológicos, em ambos os experimentos foram utilizados os princípios do procedimento *tradeoff* de eliciação de preferência, desenvolvido por Keeney e Raiffa (1976) e estruturados em meio ao SAD. Os participantes foram alunos da graduação e pós-graduação do curso de Engenharia de Produção da UFPE. Toda a condução das atividades experimentais esteve em acordo com as diretrizes aprovadas pelo CEP/UFPE.

Em conformidade com o objetivo principal, esta tese investigou algumas variáveis cognitivas do decisor durante a realização do procedimento *tradeoff* de eliciação de preferências. Desta maneira, foi gerado um panorama acerca dos níveis de atenção nas diversas etapas do procedimento.

Inicialmente, analisou-se como as características do conjunto de critérios do problema de decisão influenciam na variação do esforço cognitivo ao decisor durante o procedimento *tradeoff* de eliciação de preferências. Posteriormente, aspectos comportamentais como atenção, memória de trabalho e engajamento também foram investigados, especialmente relacionando-se a etapa de “Obtenção das constantes de escala”. Essa etapa ao exigir a identificação do ponto de indiferença corresponde a um fator que repercute em demasiada robustez ao procedimento *tradeoff* de eliciação de preferências. Nesta tese, foram propostos alguns parâmetros, a serem contemplados na abordagem *tradeoff* para evitar demasiado esforço cognitivo no desenvolvimento desta etapa.

Portanto, como resultado da pesquisa, alguns *insights* e recomendações para modelagem de problemas de decisão com uso do procedimento *tradeoff* puderam ser estabelecidos, dentre os quais: a quantidade de critérios em que o decisor sente-se mais confortável de avaliar (entre cinco ou seis), a natureza dos critérios deve ser balanceada (quantitativo e qualitativo), e o uso da função bisseção para avaliação dos critérios apenas quando o decisor se julgar indeciso quanto a linearidade. A compreensão desses aspectos cognitivos que impactam o decisor tende a proporcionar melhorias nas ferramentas de apoio a decisão, de modo a permitir maior flexibilização, usabilidade e efetividade.

Por sua vez, decisões com um maior nível de assertividade podem proporcionar decisões com maior qualidade. Este fato repercute em benefícios de cunhos econômicos e financeiros, visto a eventual minimização de retrabalhos, que por sua vez repercute em ganhos materiais (como matérias-primas), ganhos sociais (pois em geral as decisões apresentam algum respaldo de benefício direto ou indireto a consumidores e a sociedade de modo geral) e ganhos humanos (diante da concentração de esforço em atividades válidas).

5.2 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Dada às contribuições desta pesquisa, acredita-se que seus ganhos podem ser potencializados diante de uma continuidade dos estudos, de modo a mitigar as limitações existentes. Nessa perspectiva, este tópico abordará as limitações percebidas por esta pesquisa alinhando-os a contextos de trabalhos futuros.

Inicialmente, nessa pesquisa, apenas participantes com conhecimento prévio abordagem MCDM/A foram recrutados. Esse aspecto pode repercutir em maior nível de confiança na condução das atividades experimentais. Essa restrição teve como fundamento a intenção de desenvolver um mapeamento psicofisiológico dos decisores que são habituados a tratar problemas utilizando metodologias de decisão formais. Considerando ser uma pesquisa pioneira, essas restrições quanto à amostra de participantes tendem a proporcionar certa fidedignidade aos resultados no que tange o compromisso do decisor durante a elicitação, pois uma vez que conhecem o procedimento, pode-se estabelecer a hipótese de respostas conscientes e não meramente a seleção aleatória das alternativas.

Nesse contexto, torna-se interessante conduzir trabalhos futuros que expandam o perfil de participantes para indivíduos que não detenham conhecimentos prévios sobre a abordagem MCDM/A. Assim, é possível analisar a diferença nos níveis do esforço cognitivo dado a presença ou ausência de um prévio domínio sobre as abordagens da modelagem de preferência. E, se porventura, foram confirmados níveis semelhantes de esforço cognitivo

tende a dirimir o preconceito de uma parte dos decisores sobre as ferramentas formais de decisão, pelo quais muitos as julgam como trabalhosas e dispendiosas em termos de tempo.

Como nesta pesquisa cada participante estruturou um problema de decisão multicritério em um contexto que detivesse conhecimento e/ou interesse, tem-se que participantes com certo grau de especialização na situação em decisão a ser abordada. No entanto, o mundo é dinâmico e repleto de situações de decisões imersas em contexto incerto. Assim, torna-se interessante repetir as atividades experimentais considerando um problema multicritério único para todos os participantes. Assim, será possível comparar as variáveis de esforço cognitivo quando o decisor detém a decisão em um ambiente conhecido *versus* ambiente desconhecido.

Neste estudo não foi realizada análises considerando as diferenças de idade e gênero entre os participantes. E, considerando que a amostra apresenta participantes que diferem em termos de idade, num espaço que atinge mais de duas décadas, possa ser que o nível de engajamento e atenção, por exemplo, seja diferenciado entre esses indivíduos. Isto, especialmente ao considerar o nível de conhecimento e experiências que são conquistadas agregadamente ao acúmulo de anos de vida. Portanto, recomenda-se que em pesquisas futuras esses aspectos (idade e gênero) sejam considerados como variáveis de análise.

Expandir a base de dados psicofisiológicos coletados durante as atividades comportamentais também consiste em um importante ponto para trabalhos futuros. Assim, medidas simples, de baixo custo e fácil manuseio, como as provenientes pelos equipamentos de frequência cardíaca e índice de sudorese da pele (*Skin Conductance Response*, SCR), podem ser incorporadas, potencializando fatores de pesquisa da cognição, bem como aspectos adicionais como tensão e estresse.

Especialmente com relação aos dados neurais, podem-se propiciar maiores conhecimentos diante da adoção de equipamentos mais robustos, como é o caso do fMRI. Este equipamento permite a análise de áreas profundas do cérebro, detendo melhor acuidade em termos de resolução espacial comparativamente ao EEG. Isto, além de permitir o estudo de áreas cerebrais não alcançáveis com a tecnologia do EEG, a exemplo tem-se a amígdala, que apresenta influência nas respostas emocionais no organismo humano.

Como se trata de uma pesquisa na perspectiva da tomada de decisão, em especial com relação à modelagem de preferências, gera-se uma curiosidade em saber se existe uma variação nos aspectos cognitivos quando se considera diferenças culturais. Assim, as atividades experimentais poderiam ser replicadas, em amostra significativa, em indivíduos com diferentes nacionalidades. Além disso, nos trabalhos futuros, a modelagem das

preferências também pode ser analisada diante de vieses matemáticos como modelos estocásticos dinâmicos ou mesmo inferência bayesiana.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, R.; GARG, P.K. Remote Sensing and GIS based groundwater potential e recharge zones mapping using Multi-Criteria Decision Making technique. *Water Resources Management*, v. 30, n. 1, p. 243-260, 2016.
- ALEXANDRE, B.; NAVARRO, J.; REYNAUD, E.; OSIURAK, F. Which cognitive tools do we prefer to use, and is that preference rational? *Cognition*, v. 186, p. 108-114, 2019.
- ALOYSIUS, J.A.; DAVIS, F.D.; WILSON, D.D.; TAYLOR, A.R.; KOTTEMANN, J.E. User acceptance of multi-criteria decision support systems: The impact of preference elicitation techniques. *European Journal of Operational Research*, v. 169, p. 273-285, 2006.
- AMENTA, P.; LUCADAMO, A.; MARCARELLI, G. On the transitivity and consistency approximated thresholds of some consistency indices for pairwise comparison matrices. *Information Sciences*, v. 507, p. 274-287, 2020.
- AMINHAJIBASHI, S.; HAGEN, T.; FOLDAL, M.D.; LAENG, B.; ESPESETH, T. Individual differences in resting-state pupil size: evidence for association between working memory capacity and pupil size variability. *International Journal of Psychophysiology*, v. 140, p. 1-7, 2019.
- ANDERSON, B.B.; VANCE, A.; KIRWAN, C.B.; EARGLE, D.; JENKINS, J.L. How users perceive and respond to security messages: a NeuroIS research agenda and empirical study. *European Journal of Information Systems*, v. 25, n. 4. P. 364-390, 2016.
- ANDRZEJEWSKA, M.; STOLIŃSKA, A. Comparing the difficulty of tasks using eye tracking combined with subjective and behavioural criteria. *Journal of Eye Movement Research*, v. 9, n. 3, p. 1-16, 2016.
- ARICÒ, P., BORGHINI, G., DI FLUMERI, G., COLOSIMO, A., BONELLI, S., GOLFETTI, A., *et al.* Adaptive automation triggered by EEG-based mental workload index: a passive brain-computer interface application in realistic air traffic control environment. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 10, 539, 2016.
- ARMEL, K.C.; BEAUMEL, A.; RANGEL, A. Biasing simple choices by manipulating relative visual attention. *Judgment and Decision Making*, v. 3, p. 396-403, 2008.
- BARLOW, J.D. Pupillary size as an index of preference. *Perceptual and Motor Skills*, v. 31, n. 1, p. 331-336, 1970.
- BASAR, E. A review of alpha activity in integrative brain function: Fundamental physiology, sensory coding, cognition and pathology. *International Journal of Psychophysiology*, v. 86, n. 1, p. 1-24, 2012.
- BAULT, N.; WYDOODT, P.; CORICELLI, G. Different attentional patterns for regret and disappointment: an eye-tracking study. *Journal of Behavioral Decision Making*, v. 29, n. 2-3, p. 194-205, 2016.
- BAWDEN, D.; ROBINSON, L. The dark side of information: Overload, anxiety and other paradoxes and pathologies. *Journal of Information Science*, v. 35, n. 2, p. 180-191, 2009.

BAZANOVA, O.M.; VERNON, D. Interpreting EEG alpha activity. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44, 94-110, 2014.

BEATTY J.; LUCERO-WAGONER B. The pupillary system. In: CACIOPPO J.T.; TASSINARY L.G.; BERNTSON G.G., editors. *Handbook of psychophysiology*. Hillsdale, NJ: Cambridge University Press. p. 142-162, 2000.

BECHARA, A.; TRANEL, D.; DAMASIO, H.; DAMASIO, A. R. Failure to respond autonomically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, v. 6, p. 215-225, 1996.

BELTON, V.; STEWART, T.J. *Multiple Criteria Decision Analysis*. Kluwer Academic Publisher, 2002.

BENJAMIN, D.J. BROWN, S.A.; SHAPIRO, J. M. Who is 'behavioral'? Cognitive ability and anomalous preferences. *Journal of the European Economic Association*, v. 11, n. 6, p. 1231-1255, 2013.

BEN AZOUZ, O, DELLAGI, L, KEBIR, O, TABBANE, K. Le concept d'attention [The concept of attention]. *Journal medical tunisie*, v. 87, n. 10, p. 680-684, 2009.

BERCÍK, J.; HORSKÁ, E.; WANG, R.W.Y.; CHEN, Y-C. The impact of parameters of store illumination on food shopper response. *Appetite*, v. 106, p. 101-109, 2016.

BIDGOLI, H. *Decision support systems: principles and practice*. West Group, 1989.

BORYS, M.; PLECHAWSKA-WÓJCIK, M. Eye-tracking metrics in perception and visual attention research. *European Journal of Medical Technologies*, v. 3, n. 16, p. 11-23, 2017.

BRÖDER, A.; NEWELL, B.R.; PLATZER, C. Cue integration vs. exemplar-based reasoning in multi-attribute decisions from memory: A matter of cue representation. *Judgment and Decision Making*, v. 5, n. 5, p. 326-338, 2010.

BRUNER, J. *Going beyond the information given*. New York: Norton, 1973.

CALVO, H.; PAREDES, J.L.; FIGUEROA-NAZUNO, J. Measuring concept semantic relatedness through common spatial pattern feature extraction on EEG signals. *Cognitive Systems Research*, v. 50, p. 36-51, 2018.

CARPENTER, R. H. S. *Movements of the eyes*. Pion Limited, 1988.

CARVALHO, V.D.H.; POLETO, T.; SEIXAS, A.P.C. Information technology outsourcing relationship integration: a critical success factors study based on ranking problems (P.γ) and correlation analysis. *Expert Systems*, v. 35, n. 1, e12198, 2017.

CAUSSE, M., LANCELOT, F., MAILLANT, J., BEHREND, J., COUSY, M., SCNEIDER, N. Encoding decisions and expertise in the operator's eyes: Using eye-tracking as input for system adaptation. *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 125, p. 55-65, 2019.

CHAUMON, M.; BISHOP, D.V.M.; BUSCH, N.A. A practical guide to the selection of independent components of the electroencephalogram for artifact correction. *Journal of Neuroscience Methods*, v. 250, p. 47-63, 2015.

- CHEN, S.; EPPS, J. Automatic classification of eye activity for cognitive load measurement with emotion interference. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, v. 110, n. 2, p. 111-124, 2013.
- CHENG, J.; GONZÁLEZ-VALLEJO, C. Unpacking decision difficulty: Testing action dynamics in intertemporal, gamble, and consumer choices. *Acta Psychologica*, v. 190, p. 199-216, 2018.
- CHOI, Y.; PARK, J.; SHIN, D. A semi-supervised inattention detection method using biological signal. *Annals of Operations Research*, v. 258, n. 1, p. 59-78, 2017.
- DAMASIO, A. R. *Descartes's error: emotion, reason, and the human brain*. New York, NY: Putnam, 1994.
- DANNER, L., de ANTONI, N., GERE, A., SIPOS, L., KOVÁCS, S., DÜRRSCHMID, K. Make a choice! Visual attention and choice behaviour in multialternative food choice situation. *Acta Alimentaria*, v. 44, n. 4, p. 515-524, 2016.
- 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.
- de ALMEIDA, A.T. *Processo de decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério*. São Paulo, Atlas, 2013, 231p.
- de ALMEIDA, A.T.; de ALMEIDA, J.A.; COSTA, A.P.C.S.; de 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, p. 179-191, 2016.
- DE ALMEIDA, A.T, CAVALCANTE, C., ALENCAR, M., FERREIRA, R., DE ALMEIDA-FILHO, A., GARCEZ, T. Multicriteria and multi-objective models for risk, reliability and maintenance decision analysis (Vol. 231)., International series in operations research and management science New York: Springer, 2015.
- DECK, C.; JAHEDI, S. The effect of cognitive load on economic decision making: A survey and new experiments. *European Economic Review*, v. 78, p. 97-119, 2015.
- DELQUIE, P. Optimal Conflict in Preference Assessment. *Management Science*, v. 49, n. 1, p. 102-115, 2003.
- DELORME, A.; MAKEIG, S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics. *Journal of Neuroscience Methods*, v. 134, p. 9-21, 2004.
- DICKSON, D.S.; WICHA, N.Y.Y. P300 amplitude and latency reflect arithmetic skill: An ERP study of the problem size effect. *Biological Psychology*, v. 148, 107745, 2019.
- DIMOKA, A., DAVIS, F.D., GUPTA, A., PAVLOU, P.A., BANKER, R.D., DENNIS, A.R., ISCHEBECK, A., MÜLLER-PUTZ, G., BENBASAT, I., GEFEN, D., KENNING, P.H., RIEDL, R., VOM BROCKE, J., e KENNING, P.H. On the use of neurophysiological tools in IS research: Developing a research agenda for NeuroIS. *MIS Quarterly*, v. 36, n.3, p. 679-702, 2012.

DJAMASBI, S. Eye tracking and web experience. *AIS Transactions on Human Computer Interaction*, n. 6, v. 2, p. 37-54, 2014.

DRAGONE, P.; TESO, S.; PASSERINI, A. Constructive preference elicitation. *Frontiers in Robotics and AI*, v. 4, p. 71, 2018.

DUM, T.L.; RISKO, E.F. Understanding the cognitive miser: Cue-utilization in effort-based decision making. *Acta Psychologica*, v. 198, p. 102863, 2019.

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

EBITZ, R.B.; MOORE, T. Both a gauge and a filter: Cognitive modulations of pupil size. *Frontier in Neurology*, v. 9, p. 1190, 2018.

ECKSTEIN, M.K.; GUERRA-CARRILLO, B.; SINGLEY, A.T.M.; BUNGE, S.A. Beyond eye gaze: What else can eye-tracking reveal about cognition and cognitive development? *Developmental Cognitive Neuroscience*, v. 25, p. 69-91, 2017.

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.

EHLERS, J.; STRAUCH, C.; HUCKAUF, A. A view to a click: Pupil size changes as input command in eyes-only human-computer interaction. *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 119, p. 28-34, 2018.

EMOTIV EPOC+ - 14 CHANNEL WIRELESS EEG HEADSET. EMOTIV. Disponível em: <https://www.emotiv.com/epoc/>. Acesso em: 16 ago. 2020

ENTRENAS, J-A., DOLORES, P-M., TORRES, I., GARRIDO-VARO, A., SÁNCHEZ, M-T. Safety and quality issues in summer squashes using handheld portable NIRS sensors for real-time decision making and for on-vine monitoring. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. v. 99, n. 15, p. 6768-6777, 2019.

FECHNER, H.B.; SCHOOLER, L. J.; PACHUR, T. Cognitive costs of decision-making strategies: A resource demand decomposition analysis with a cognitive architecture. *Cognition*, 170, 102-122, 2018.

FEHRENBACHER, D.D.; DJAMASBI, S. Information systems and task demand: an exploratory pupillometry study of computerized decision making. *Decision Support Systems*, v. 97, p. 1-11, 2017.

FIEDLER, S., GLÖCKNER, A. The dynamics of decision making in risky choice: an eye-tracking analysis. *Frontiers in Psychology*, v. 3, p. 335, 2012.

FIGUEIRA, J., GRECO, S., EHRGOTT, M. *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*. Berlin: Springer, 2005.

FISCHER, N.L.; PERES, R.; FIORANI, M. Frontal Alpha Asymmetry and Theta oscillations associated with information sharing intention. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, v. 12, 166, 2018.

FISKE, S.T.; TAYLOR, S.E. Social cognition. Reading, MA: Addison-Wesley, 1984.

FRANCO-WATKINS, A.M.; PASHLER, H.; RICKARD, T.C. Does working memory load lead to greater impulsivity? Commentary on Hinson, Jameson, and Whitney (2003). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, v. 32, p. 443-447, 2006.

FREY, A.; LEMAIRE, B.; VERCUEIL, L.; GUÉRIN-DUGUÉ, A. An eye-fixation-related potential study in two reading tasks: Reading to memorize and reading to make a decision, *Brain Topography*, v. 31, p. 640-660, 2018.

GARDNER, J.L. Optimality and heuristics in perceptual neuroscience. *Nature Neuroscience*, v. 22, p. 514-523, 2019.

GIL, A.C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GILBERT, D.T.; PELHAM, B. W.; KRULL, D.S. On cognitive busyness: When person perceivers meet persons perceived. *Journal of Personality and Social Psychology*, v. 54, n. 5, p. 733-740, 1988.

GAMBLE, K.R., VETTEL, J.M., PATTON, D.J., EDDY, M.D., DAVIS, F.C., GARCIA, J.O., SPANGLER, D.P., THAYER, J.F., BROOKS, J.R. Different profiles of decision making and physiology under varying levels of stress in trained military personnel. *International Journal of Psychophysiology*, v. 131, p. 73-80, 2018.

GLAZER, J.E.; KELLEY, N.J.; PORNPATTANANANGKUL, N.; MITTAL, V.A.; NUSSLOCK, R. Beyond the FRN: Broadening the time-course of EEG and ERP components implicated in reward processing. *International Journal of Psychophysiology*, v. 132 b, p. 184-202, 2018.

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

GOLDINGER, S.D.; PAPERISH, M.H. Pupil dilation reflects the creation and retrieval of memories. *Current Directions in Psychological Science*, v. 21, p. 90-95, 2012.

GUO, F.; LI, M.; HU, M.; LI, F.; LIN, B. Distinguishing and quantifying the visual aesthetics of a product: An integrated approach of eye-tracking and EEG. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 71, p. 47-56, 2019.

JANN, K.; KOENIG, T.; DIERKS, T.; BOESCH, C.; FEDERSPIEL, A. Association of individual resting state EEG alpha frequency and cerebral blood flow. *NeuroImage*, v. 51, n. 1, p. 365-372, 2010.

JOHNSON, E. J.; RATCLIFF, R. Computational and process models of decision making in psychology and behavioral economics. In: GLIMCHER, P.; FEHR, E. (Eds.), *Neuroeconomics: Decision Making and the Brain* (2, p. 35-47). Amsterdam: Acad. Press, 2014.

JUBERA-GARCÍA, E.; GEVERS, W.; OPSTAL, F. Influence of content and intensity of thought on behavioral and pupil changes during active mind wandering, off focus and on-task States. *PsyArXiv*, p. 1-22, 2018.

HALAMISH, V.; BOROVIOI, L.; LIBERMAN, N. The antecedents and consequences of a beyond-choice view of decision situations: A construal level theory perspective. *Acta Psychologica*, v. 173, p. 41-45, 2017.

HAMMERSCHMIDT, W.; KAGAN, I.; KULKE, L.; SCHACHT, A. Implicit reward associations impact face processing: Time-resolved evidence from event-related brain potentials and pupil dilations. *Neuroimage*, v. 179, p. 557-569, 2018.

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.

HE, J.; MCCARLEY, J.S. Executive working memory load does not compromise perceptual processing during visual search: evidence from additive factors analysis, *Attention, Perception, e Psychophysics*, v. 72, n. 2, p. 308-316, 2010.

HERDING, J.; LUDWIG, S.; VON LAUTZ, A.; SPITZER, B.; BLANKENBURG, F. Centro-parietal EEG potentials index subjective evidence and confidence during perceptual decision making. *Neuroimage*, v. 201, 116011, 2019.

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.

HESS, S., DALY, A.J., BATLEY, R. Revisiting consistency with random utility maximisation: theory and implications for practical work, *Theory and Decision*, v. 84, n. 2, p. 181-204, 2018.

HESS, E.H.; POLT, J.M. Pupil size in relation to mental activity during simple problem-solving. *Science*, v. 143, n. 3611, p. 1190-1192, 1964.

HOGERVORST, M.A., BROUWER, A-M., VAN ERP, J.B.F. Combining and comparing EEG, peripheral physiology and eye-related measures for the assessment of mental workload. *Frontier in Neuroscience*, v. 8, p. 322, 2014.

HOLMQVIST, K.; NYSTRÖM, M.; ANDERSSON, R.; DEWHURST, R.; JARODZKA, H.; VAN DE WEIJER, J. *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. 1 ed. New York: Oxford University Press, 2011.

HOMMEL, B.; MEMELINK, J.; ZMIGROD, S.; COLZATO, L.S. Attentional control of the creation and retrieval of stimulus-response bindings. *Psychological Research*, v. 78, p. 520-538, 2014.

HOPFINGER, J. B.; SLOTNICK, S. D. Attentional control and executive function. *Cognitive Neuroscience: Current Debats, Research e Reports*, v. 11, n. 1-2, p. 1-4, 2020.

HOUTAN, J., HWANG, S., LEE, S. EEG signal-processing framework to obtain high-quality brain waves from an off-the-shelf wearable EEG device. *Journal of Computing in Civil Engineering*. v. 32, n. 1, 04017070-1, 2018.

HUNT, L. T., DOLAN, R.J., BEHRENS, T.E.J. Hierarchical competitions subserving multi-attribute choice. *Nature Neuroscience*, v. 17, p. 1613-1622, 2014.

KAHNEMAN, D. *Attention and effort*. Englewood Cliffs, New Jersey. Prentice-Hall, 1973.

KAHNEMAN, D.; BEATTY, J. Pupil diameter and load on memory. *Science*, v. 154, n. 3756, p. 1583-1585, 1966.

KARMARKAR, U.R.; PLASSMANN, H. Consumer neuroscience: past, present, and future. *Organizational Research Methods*, v. 22, n. 1, p. 174-195, 2019.

KARMARKAR, U.R.; SHIV, B.; KNUTSON, B. Cost conscious? The neural and behavioral impact of price primacy on decision making. *Journal of Marketing Research*, v. 52, n. 4, p. 467-481, 2015.

KANG, M.J.; RANGEL, A.; CAMUS, M.; CAMERER, C.F. Hypothetical and real choice differentially activate common valuation areas. *Journal of neuroscience*, v. 31, n. 2, p. 461-468, 2011.

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

KEENEY R. L.; RAIFFA, H. *Decisions with multiple objectives - preferences, and value tradeoffs*. New York: Wiley e Sons, 1978.

KESSLER, Y.; MEIRAN, N. The reaction-time task-rule congruency effect is not affected by working memory load: further support for the activated long-term memory hypothesis. *Psychological Research*, v. 74, p. 388-399, 2010.

KHUSHABA, R. N.; WISE, C.; KODAGODA, S.; LOUVIERE, J.; KAHN, B.E.; TOWNSEND, C. 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.

KIANI, R.; CHURCHLAND, A. K.; SHADLEN, M. N. Integration of direction cues is invariant to the temporal gap between them. *Journal of Neuroscience*, v. 33, n.42, p. 16483-16489, 2013.

KLIMESCH, W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Review*, v. 29, n. 2-3, p. 169-195, 1999.

KLIMESCH, W.; DOPPELMAYR, M.; RUSSEGER, H.; PACHINGER, T.; SCHWAIGE, J. Induced alpha band power changes in the human EEG and attention. *Neuroscience Letters*, v. 244, n. 2, p. 73-76, 1998.

KOOL, W.; MCGUIRE, J.T.; ROSEN, Z.B.; BOTVINICK, M.M. Decision making and the avoidance of cognitive demand. *Journal of Experimental Psychology*, v. 139, n. 4, p. 665-682, 2010.

KRAJBICH, I.; ARMEL, C.; RANGEL, A. Visual fixations and the computation and comparison of value in simple choice. *Nature Neuroscience*, v. 13, p. 1292-1298, 2010.

KRAMPE, C., STRELOW, E., HAAS, A., KENNING, P. The application of mobile fNIRS to “shopper neuroscience” – first insights from a merchandising communication study. *European Journal of Marketing*, v. 52, n. 1/2, p. 244-259, 2018.

KRAWCZYK, D. Contributions of the prefrontal cortex to the neural basis of human decision making. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, v. 26, n. 6, p. 631-664, 2002.

KRET, M. E.; SJAK-SHIE, E.E. Preprocessing pupil size data: Guidelines and code. *Behavior Research Methods*, v. 51, p. 1336-1342, 2019.

KROL, M.; KROL, M. A novel approach to studying strategic decisions with eye-tracking and machine learning. *Judgment and Decision Making*, v. 12, n. 6, p. 596-609, 2017.

KRUCIEN, N.; RYAN, M.; HERMENS, F. Visual attention in multi-attribute choices: What can eye-tracking tell us? *Journal of Economic Behavior e Organization*, v. 135, p. 251-267, 2017.

KUNAR, M.A.; WATSON, D.G.; TSETOS, K.; CHATER, N. The influence of attention on value integration. *Attention, Perception e Psychophysics*, v. 79, n. 6, p. 1615-1627, 2017.

LEGER, P.M.; RIEDL, R.; VOM BROCKE, J. Emotions and ERP information sourcing: the moderation role of expertise. *Industrial Management e Data Systems*, v. 114, n. 3, p. 456-471, 2014.

LEIBOVICH, T.; KATZIN, N.; HAREL, M.; HENIK, A. From 'sense of number' to 'sense of magnitude' - The role of continuous magnitudes in numerical cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, v. 40, 2017.

LEOTTI, L. A.; YENGAR, S. S.; OCHSNER, K. N. Born to choose: the origins and value of the need for control. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 14, p. 457-463, 2010.

LEWANDOWSKA, K.; GĄGO, A.; SIKORA-WACHOWICZ, B.; MAREK, T.; FAŁROWICZ, M. Saying “yes” when you want to say “no” - Pupil dilation reflects evidence accumulation in a visual working memory recognition task. *International Journal of Psychophysiology*, v. 139, p. 18-32, 2019.

LIEBERMAN, M.D. Social Cognitive Neuroscience: a review of core process. *Annual Review Psychology*, v. 58, p. 259-289, 2007.

LIMA, B.C., PEREIRA, L.S., MORAIS, D.C. Processo de estruturação de problemas incorporando análise do comportamento dos indivíduos. In: *XXXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2018.

LIN, C.T.; CHUANG, C.H.; KERICK, S.; MULLEN, T.; JUNG, T.P.; KO, L.W., et al. Mind-wandering tends to occur under low perceptual demands during driving. *Scientific Reports*, v. 6, 21353, 2016.

LIU, R.; HSUEH, P.Y.; LAI, J.; SANGIN, M.; NUSSLI, M.A.; DILLENBOURG, P. Who is the expert? Analyzing gaze data to predict expertise level in collaborative applications, *IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, p. 898-901, 2019.

MARTINS, C.L.; de ALMEIDA, A.T.; MORAIS, D.C. Design of a Decision Support System for resource allocation in Brazil public universities. *International Journal of Decision Support System Technology*, v. 11, p. 20-34, 2019.

MARTINEZ-CONDE, S.; MACKNIK, S. L.; HUBEL, D. H. The role of fixational eye movements in visual perception. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 5, p. 229-240, 2004.

MCDONALD, K. R.; PEARSON, J. M. Cognitive bots and algorithmic humans: toward a shared understanding of social intelligence. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, v. 29, p. 55-62, 2019.

MEGHANATHAN, R.N.; VAN LEEUWEN, C.; NIKOLAEV, A.R. Fixation duration surpasses pupil size as a measure of memory load in free viewing, *Frontiers in Human Neuroscience*, n. 8, 1063, 2014.

MEIßNER, M., MUSALEM, A., HUBER, J. Eye-Tracking reveals processes that enable conjoint choices to become increasingly efficient with practice. *Journal of Marketing Research*, v. 53, p. 1-17, 2016.

MEYERDING, S.G.H.; MEHLHOSE, C.M. Can neuromarketing add value to the traditional marketing research? An exemplary experiment with functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). *Journal of Business Research*, v. 107, p. 172-185, 2020.

MILETIĆ, S.; VAN MAANEN, L. Caution in decision-making under time pressure is mediated by timing ability. *Cognitive Psychology*, v. 110, p. 16-29, 2019.

MILOSAVLJEVIC, M.; NAVALPAKKAM, V.; KOCH, C.; RANGEL, A. Relative visual saliency differences induces sizable bias in consumer choice *Journal of Consumer Psychology*, v. 22, n. 1, p. 67-74, 2012.

MOLINA, F.S., PLA-SANTAMARIA, D., GARCIA-BERNABEU, A., REIG-MULLOR, J. A compact representation of preferences in multiple criteria optimization problems. *Mathematics*, v.7, 1092, 2019.

NAGEL, R.; BROVELLI, A.; HEINEMANN, F.; CORICELLI, G. Neural mechanisms mediating degrees of strategic uncertainty. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, v.13, n. 1, p. 52-62, 2018.

NARUSE, M.; YAMAMOTO, E.; NAKAO, T.; AKIMOTO, T.; SAIGO, H.; OKAMURA, K.; OJIMA, I.; NORTHOFF, G.; HORI, H. Why is the environment important for decision making? Local reservoir model for choice-based learning. *Plos one*, v. 13, n. 10, e0205161, 2019.

OBERAUER, K. Removal of irrelevant information from working memory: sometimes fast, sometimes slow, and sometimes not at all. *Annals of the New York Academy of Science*, v. 1424, p. 239-255, 2018.

PAPESH, M.H., GOLDINGER, S.D. Pupil dilation reveals cognitive effort, and cognitive effortless. *International Journal of Psychophysiology*, v. 94, n. 2, p. 133-134, 2014.

PARK, S.Q.; KAHNT, T.; RIESKAMP, J.; HEEKEREN, H.R. Neurobiology of value integration: when value impacts valuation. *Journal of Neuroscience*. v. 31, n. 25, p. 9307-9314, 2011.

PASCHALIDIS, E., CHOUDHURY, C.F., HESS, S. Modelling the effects of stress on gap-acceptance decisions combining data from driving simulator and physiological sensors.

Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior, v. 59, Parte A, p. 418-435, 2018.

PEREIRA, L.S.; MOURA, J. A.; MORAIS, D.C; COSTA, A.P.C.S. Individual's behavior behind the punishment in a monetary game. In: *III Encontro de Pesquisa e Pós-Graduação em Engenharia de Produção*, III EPPGEP, 2018.

PEREIRA, L.S.; MORAIS, D.C.(a) Multicriteria decision model to establish maintenance priorities for wells in a groundwater system. *Water Resources Management*, 1-16, 2020.

PEREIRA, L.S.; MORAIS, D.C.(b) The strategic choice approach to the maintenance management of a water distribution system. *Urban Water Journal*, v. 17, n. 1, p. 23-31, 2020.

PEREIRA, L.S.; MORAIS, D.C.; FIGUEIRA, J.R. Using criticality categories to evaluate water distribution networks and improve maintenance management. *Sustainable Cities and Society*, v. 61, 102308, 2020.

PEREIRA, L.S.; SILVA FILHO, J.L.; MORAIS, D.C. Agregação de conhecimento de especialistas heterogêneos em decisão aplicada ao problema da crise hídrica. In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2019.

PIGOZZI, G.; TSOUKIÀS, A.; VIAPPIANI, P. Preferences in artificial intelligence. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, v. 77, n. 3-4, p. 361-401, 2016.

PINEDA, P.J.G., LIOU, J.J., HSU, C.C., CHUANG, Y.C. An integrated MCDM model for improving airline operational and financial performance. *Journal of Air Transport Management*, v. 68, p. 103-117, 2018.

POIRIER, M. W.; DECKER, C.; SPERTUS, J. A.; MCDOWD, J. M. What eye-tracking methods can reveal about the role of information format in decision-aid processing: an exploratory study. *Patient Education and Counseling*, v. 102, n. 11, p. 1977-1984, 2019.

POLANÍA, R., KRAJIBICH, I., GRUESCHOW, M., RUFF, C.C. Neural oscillations and synchronization differentially support evidence accumulation in perceptual and value-based decision making. *Neuron*, v. 82, p. 709-720, 2014.

POMMERANZ, A.; BROEKENS, J.; WIGGERS, P.; BRINKMAN, W-P.; JONKER, C.M. Designing interfaces for explicit preference elicitation: a user-centered investigation of preference representation and elicitation process. *User Modeling and User-adapted Interaction*, v. 22, n. 4-5, p. 357-397, 2012.

POPE, A.T.; BOGART, E.H.; BARTOLOME, D. S. Biocybernetic system evaluates indices of operator engagement in automated task. *Biological Psychology*, v. 40(1-2), p. 187-195, 1995.

PORNPATTANANANGKUL, N.; GROGANS, S.; YU, R.; NUSSLOCK, R. Single-trial EEG dissociates motivation and conflict processes during decision-making under risk. *NeuroImage*, v. 188, p. 483-501, 2019.

POUDEL, G.R.; BHATTARAI, A.; DICKINSON, D.L.; DRUMMOND, S. Neural correlates of decision-making during a Bayesian choice task. *NeuroReport*, v. 28, n. 4, 193-199, 2017.

PRATT, R.W. Cognitive processing of uncertainty: Its effect on pupillary dilation and preference ratings. *Perception e Psychophysics*, v. 8, n. 4, p. 193-198, 1970.

PUTMAN, P., VAN PEER, J., MAIMARI, I., VAN DER WERFF, S. EEG theta/beta ratio in relation to fear-modulated response-inhibition, attentional control, and affective traits. *Biological Psychology*, v. 83, p. 73-78, 2010.

QUASCHNING, S.; PANDELAERE, M.; VERMEIR, I. When and why attribute sorting affects attribute weights in decision-making. *Journal of Business Research*, v. 67, n. 7, p. 1530-1536, 2014.

RAJKOWSKI J.; MAJCZYNSKI H.; CLAYTON E.; ASTON-JONES, G. Activation of monkey locus coeruleus neurons varies with difficulty and performance in a target detection task. *Journal of Neurophysiology*, v. 92, n. 1, p. 361-371, 2004.

RAMSØY, T.Z.; SKOV, M.; CHRISTENSEN, M.K.; STAHLHUT, C. Frontal brain asymmetry and willingness to pay. *Frontiers in Neuroscience*, v. 12, p. 138, 2018.

RANGEL, A.; CAMERER, C.; MONTAGUE, P.R. A framework for studying the neurobiology of value-based decision making. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 9, p. 545-556, 2008.

RASCH, C.; LOUVIERE, J.J.; TEICHERT, T. Using facial EMG and eye tracking to study integral affect in discrete choice experiments. *The Journal of Choice Modelling*, v. 14, p. 32-47, 2015.

REUTER, M., MONTAG, C. *Neuroeconomics*. Springer Berlin Heidelberg, 2016.

REUTSKAJA, E.; NAGEL, R.; CAMERER, C.F.; RANGEL, A. Search dynamics in consumer choice under time pressure: An eye-tracking study. *American Economic Review*, v. 101, n. 2, p. 900-926, 2011.

REY, A.; LE GOFF, K.; ABADIE, M.; COURRIEU, P. The primacy order effect in complex decision making. *Psychological Research*, p. 1-10, 2019.

REZNIK, S. J.; ALLEN, J. J. B. Frontal asymmetry as a mediator and moderator of emotion: an updated review. *Psychophysiology*, v. 5, n. 1, e12965, 2018.

RICHARDSON, D.; SPIVEY, M. J. *Eye-tracking: characteristics and methods*. In: WNEK, G.; BOWLING, G. (Eds.). *Encyclopedia of biomaterials and biomedical engineering*. Nova York: Informa Healthcare, 2004.

RIVERO, N.P.P.; MORAIS, D.C.; PEREIRA, L.S. Assessment of actions to tackle the shortages of water in La Paz, Bolivia. *Water Policy*, v. 22, n. 2, p. 177-192, 2020.

ROMÁN, F.; COLOM, R.; HILLMAN, C.H.; KRAMER, A.; COHEN, N.J.; BARBEY, A.K. Cognitive and neural architecture of decision making competence. *NeuroImage*, v. 199, p. 172-183, 2019.

ROY, B. *Multicriteria methodology for decision-aiding*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1996.

SALO, A.; HÄMÄLÄINEN, R.P. Preference ratios in multiattribute evaluation (PRIME)-elicitation and decision procedures under incomplete information. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, v. 31, 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.

SCHERBAUM, S.; FRISCH, S.; LEIBERG, S.; LADE, S.J.; GOSCHKE, T.; DSHEMUCHADSE, M. Process dynamics in delay discounting decisions: An attractor dynamics approach. *Judgment and Decision Making*, v. 11, n. 5, p. 472-495, 2016.

SCHLERETH, C.; ECKERT, C.; SCHAAF, R.; SKIERA, B. Measurement of preferences with self-explicated approaches: A classification and merge of trade-off- and non-trade-off-based evaluation types. *European Journal of Operational Research*, v. 238, n. 1, p. 185-198, 2014.

SCHNEIDER, W.J., MCGREW, K.S. The Cattell-Horn-Carroll model of intelligence. In D.P. Flanagan e P.L. Harrison (Eds.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (p. 99–144). The Guilford Press, 2012.

SCHOEMANN, M.; SCHULTE-MECKLENBECK, M.; RENKEWITZ, F.; SCHERBAUM, S. Forward inference in risky choice: Mapping gaze and decision processes. *Journal of Behavioral Decision Making*, v. 32, n. 5, p. 521-535, 2019.

SCHÜRMAN, M.; BASAR-EROGLU, C.; KOLEV, V.; BASAR, E. Delta responses and cognitive processing: Single-trial evaluations of human visual P300. *International Journal of Psychophysiology*, 39(2–3), 229-239, 2000.

SELYE, H. *Stress in Health and Disease*. Butterworth, Stoneham, MA, 1976.

SHEN, K.Y., HU, S. K., TZENG, G.H. Financial modeling and improvement planning for the life insurance industry by using a rough knowledge based hybrid MCDM model. *Information Sciences*, v. 375, p. 296-313, 2017.

SHOJAEIZADEH, M.; DJAMASBI, S.; PAFFENROTH, R. C.; TRAPP, A.C. Detecting task demand via an eye tracking machine learning system. *Decision Support System*, v. 116, p. 91-101, 2019.

SILVA, M.M.; HIPEL, K.W.; MARC KILGOUR, D.; COSTA, A.P.C.S. Urban planning in Recife, Brazil: evidence from a conflict analysis on the new Recife project. *Journal of Urban Planning and Development*, v. 143, n. 3, 05017007, 2017.

SLANZI, G.; BALAZS, J.A.; VELÁSQUEZ, J.D. Combining eye tracking, pupil dilation and EEG analysis for predicting web users click intention. *Information Fusion*, v. 35, p. 51-57, 2017.

SMITH, S.M.; KRAJBICH, I. Attention and choice across domains. *Journal of Experimental Psychology: General*, v. 147, n. 12, p. 1810-1826, 2018.

SNYDER, K.; WANG, W.-W.; HAN, R.; MCFADDEN, K.; VALENTINO, R.J. Corticotropin-releasing factor in the norepinephrine nucleus, locus coeruleus, facilitates behavioral flexibility. *Neuropsychopharmacology*, v. 37, n. 2, p. 520-530, 2012.

SPRAGUE JR, R.H.; WATSON, H.J. DSS bibliography. Decision support systems: putting theory into practice, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 403-411, 1989.

STAIR, R.M. *Princípios de Sistemas de Informação: uma abordagem gerencial*, 2ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 1998, 451p.

STAIR, R.M.; REYNOLDS, G.W. *Fundamentals of Information Systems*, 5th: South-Western, 2009, 488p.

SVENNINGSEN, L.S.; JACOBSEN, J.B. 2018. Testing the effect of changes in elicitation format, payment vehicle and bid range on the hypothetical bias for moral goods. *Journal of Choice Modelling*, v. 29, p. 17-32, 2018.

SYLCOTT, B.; CAGAN, J.; TABIBNIA, G. Understanding consumer tradeoffs between form and function through metaconjoint and cognitive neuroscience analyses. *Journal of Mechanical Design*, v. 135, n. 10, 101002, 2013.

TEUBNER, T.; ADAM, M.; RIORDAN, R. The impact of computerized agents on immediate emotions, overall arousal and bidding behavior in electronic auctions. *Journal of the Association for Information Systems*, v. 16, n. 10, p. 838-879, 2015.

TOBII PRO X3-120 SCREEN-BASED EYE TRACKER. TOBII. Disponível em: <https://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-x3-120/>. Acesso em: 16 ago. 2020

TRAVIS, S.L.; DUX, P.E.; MATTINGLEY, J.B. Neural correlates of goal-directed enhancement and suppression of visual stimuli in the absence of conscious perception. *Attention, Perception, e Psychophysics*, v. 81, n. 5, p. 1346-1364, 2019.

UGGELDAHL, K.; JACOBSEN, C.; LUNDHEDE, T.H.; OLSEN, S.B. choice certainty in discrete choice experiments: will eye tracking provide useful measures? *Journal of Choice Modelling*, v. 20, p. 35-48, 2016.

UMEMOTO, K.; YAMAMOTO, T.; NAKAMURA, S.; TANAKA, K. (2012). Search intent estimation from user's eye movements for supporting information seeking. In *Proceedings of the international working conference on advanced visual interfaces*, p. 349-356, 2012.

VALENTINO, R.J.; VAN BOCKSTAELE, E. Convergent regulation of Locus Coeruleus activity as an adaptive response to stress. *European Journal of Pharmacology*, v. 583, n. 2-3, p. 194-203, 2008.

VAN DER LAAN, L.N., HOOGE, I.T.C., RIDDER, D.T.D., VIERGEVER, M.A., SMEETS, P.A.M. Do you like what you see? The role of first fixation and total fixation duration in consumer choice. *Food Quality and Preference*, v. 39, p. 46-55, 2015.

VAN DER WEL, P.; VAN STEENBERGEN, H. Pupil dilation as an index of effort in cognitive control tasks: A review. *Psychonomic Bulletin e Review*, v. 25, n. 6, p. 2005-2015, 2018.

VAN OPHEUSDEN, B.; MA, W.J. Tasks for aligning human and machine planning. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, v. 29, p. 127-133, 2019.

VAN ORDEN, K.; LIMBERT, W.; MAKEIG, S.; JUNG, T.-P. Eye activity correlates of workload during a visuospatial memory task. *Human Factors*, v. 43, n. 1, p. 111-121, 2001.

VIAPPIANI, P., BOUTILIER, C. Recommendation sets and choice queries: there is no exploration/exploitation tradeoff! In: *Proceedings of the Twenty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2011.

VINCKE, P.H. *Multicriteria decision aid*. Bruxelles, John Wiley e Sons, 1992, 174p.

VOIGT, K.; MURAWSKI, C.; SPEER, S.; BODE, S. Hard decisions shape the neural coding of preferences. *The Journal of Neuroscience*, v. 39, n. 4, p. 719-726, 2019.

VON WINTERFELDT, D.; EDWARDS, W. *Decision analysis and behavioral research*. Cambridge University Press, Cambridge, 1986.

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, 1st Ed, 1-10, 2020.

WANG, L.; CHU, J.; WU, J. Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, v. 107, n. 1, p. 151-163, 2007.

WAN ISMAIL, W.O.A.S., HANIF, M., MOHAMED, S.B., HAMZAH, N., RIZMAN, Z.I. Human emotion detection via brain waves study by using Electroencephalogram (EEG). *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, v. 6, n. 6, p. 1005-1011, 2016.

WANG C., GAO J., LI M., QI H., ZHAO T., ZHANG B., ZHOU, C., FANG, S. Association of cognitive impairment and mood disorder with event-related potential P300 in patients with cerebral small vessel diseases. *Neuro Endocrinol. Lett.* v. 40, n. 7-8, p. 333–341, 2019.

WASCHER, E., RASCH, B., SÄNGER, J., HOFMANN, S., SCHNEIDER, D., RINKENAUER, G., et al. Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. *Biological Psychology*, v. 96, p. 57-65, 2014.

WATSON, S.R.; BUEDE, D.M. *Decision Synthesis. The principles and practice of decision analysis*. Cambridge University Press, 1987.

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

WRIGHT, T.J.; ROQUE, N.A.; BOOT, W.R.; STOTHART, C. Attention capture, processing speed, and inattention blindness. *Acta Psychologica*, v. 190, p. 72-77, 2018.

XIONG, J., ZUO, M. What does existing NeuroIS research focus on? *Information Systems*, v. 89, 101462, 2020.

YI, S.E.; BHAKTIKU, K.; MANOMAIPIBOON, K.; KONGJUN, T. Assessment of non-revenue water situation in Mandalay City: response to the management of sustainable water

supply system in Mandalay City. *Environment and Natural Resources Journal* v. 15, n. 2, p. 71-80, 2017.

YOUNG, L.F. A corporate strategy for decision support systems. *Information System Management*, v. 1, n. 1, p. 58+62, 1984.

ZAUNER, A., FELLINGER, R., GROSS, J., HANSLMAYR, S., SHAPIRO, K., GRUBER, W., MULLER, S., KLIMESCH, W. Alpha entrainment is responsible for the attentional blink phenomenon. *NeuroImage*, v. 63, p. 674-686, 2012.

ZELENY, M. Optimal system design with multiple criteria: de novo programming approach. *Engineering Costs and Production Economics*, v.10, n. 2, p. 89-94, 1986.

ZÉNON, A.; SOLOPCHUK, O.; PEZZULO, G. An information-theoretic perspective on the costs of cognition. *Neuropsychologia*, v. 123, p. 5-18, 2019.

ZHANG, J., HSEE, C.K., XIAO, Z. The majority rule in individual decision making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, v. 99, n. 1, 102-111, 2006.

ZOLFANI, S., AGHDAIE, M., DERAUGHTI, A., ZAVADSKAS, E., VARZANDEH, M. Decision making on business issues with foresight perspective; an application of new hybrid MCDM model in shopping mall locating. *Expert Systems with Applications*, v. 40, n. 17, p. 7111-7121, 2013.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO – CEP/UFPE**CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)**

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, após a leitura deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo ESTUDOS SOBRE COMPORTAMENTO DE INDIVÍDUOS NO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO PROBLEMAS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E DECISÃO EM GRUPO E NEGOCIAÇÃO COM APOIO DE NEUROCIÊNCIAS COGNITIVA E NEUROECONOMIA, como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pelo (a) pesquisador (a) sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade (ou interrupção de meu acompanhamento/ assistência/tratamento).

Local e data _____

Assinatura do participante: _____

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e o aceite do voluntário em participar:

Nome:

Nome:

Assinatura:

Assinatura:

APÊNDICE B – PLANILHA DE COLETA DE INFORMAÇÕES PESSOAIS

Questionário de informações pessoais	
Data:	
Nome:	
Nacionalidade:	
Sexo:	
Idade:	
Nível de escolaridade:	
Nível de conhecimento sobre Decisão Multicritério:	
Dormiu quantas horas essa noite? Teve uma boa noite de sono?	
Possui algum problema mental? Algum problema de visão? Em caso positivo, faz uso de lentes corretivas?	
Faz quanto tempo que se alimentou pela última vez?	
Fez ingestão de café, energético, chocolate?	
Tomou algum medicamento do tipo: ansiolítico, antidepressivo, analgésico, antialérgico?	

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO

AVALIAÇÃO DA EXPERIÊNCIA: PROCEDIMENTO TRADEOFF

1. Qual o seu grau de concordância com o resultado final obtido?

- ☐ () Concordo totalmente
- ☐ () Concordo parcialmente
- ☐ () Indiferente
- ☐ () Discordo parcialmente
- ☐ () Discordo totalmente

2. Considerando as etapas do procedimento Tradeoff de elicitação de preferências, estabeleça um *ranking* de dificuldade em fornecer informações:

- ☐ () Etapa 1 – Ordenação dos critérios
- ☐ () Etapa 2 – Exploração do espaço consequência
- ☐ () Etapa 3 – Elicitação par a par
- ☐ () Etapa 4 – Resolução da inconsistência (se houve)

3. As informações fornecidas durante o procedimento foram providas com segurança?

- ☐ () Sim
- ☐ () Não

[Caso o participante selecione “Não”, automaticamente seria apresentada as indagações:]

3.1 Em qual/quais etapas houve dúvidas no processo e imprecisão no fornecimento de informações?

- ☐ Etapa 1 – Ordenação dos critérios
- ☐ Etapa 2 – Exploração do espaço consequência
- ☐ Etapa 3 – Elicitação par a par
- ☐ Etapa 4 – Resolução da inconsistência (se houve)

3.2 Como você ordenaria em termos de dúvidas e imprecisão o fornecimento de informações nas etapas selecionadas anteriormente?

- ☐ Etapa 1 – Ordenação dos critérios
- ☐ Etapa 2 – Exploração do espaço consequência
- ☐ Etapa 3 – Elicitação par a par
- ☐ Etapa 4 – Resolução da inconsistência (se houve)

4. Como você se sente ao final do processo? Classifique por níveis.

Animado/satisfeito:



alto

baixo

Estressado:



*alto**baixo*

Entediado/fadigado:

*alto**baixo*

5. Desejaria refazer o processo com novas informações? Comente. (Em caso de concordância, saber se o decisor desejaria refazer o processo ou julga o método ineficaz).