



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

EDUARDA ASFORA FREJ

**MÉTODO MULTICRITÉRIO DE ELICITAÇÃO POR TRADEOFF INTERATIVO E
FLEXÍVEL PARA A PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO E PARA A TOMADA DE
DECISÃO EM GRUPO**

Recife

2019

EDUARDA ASFORA FREJ

**MÉTODO MULTICRITÉRIO DE ELICITAÇÃO POR TRADEOFF INTERATIVO E
FLEXÍVEL PARA A PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO E PARA A TOMADA DE
DECISÃO EM GRUPO**

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 Doutor em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Pesquisa Operacional.

Orientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.

Recife
2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

F866m Frej, Eduarda Asfora.
Método multicritério de elicitação por tradeoff interativo e flexível para a problemática de ordenação e para a tomada de decisão em grupo / Eduarda Asfora Frej. – 2019.
99 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2019.
Inclui Referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Elicitação flexível. 3. FITradeoff. 4. Problemática de ordenação. 5. Decisão em grupo. 6. Sistema de apoio a decisão. I. Almeida, Adiel Teixeira de. (Orientador). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-31

EDUARDA ASFORA FREJ

**MÉTODO MULTICRITÉRIO DE ELICITAÇÃO POR TRADEOFF INTERATIVO E
FLEXÍVEL PARA A PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO E PARA A TOMADA DE
DECISÃO EM GRUPO**

Dissertação ou 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 Doutor em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 01/02/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)

Prof^a. DANIELLE COSTA MORAIS, Doutora (UFPE)

Prof^a. ANA PAULA CABRAL SEIXAS COSTA, Doutora (UFPE)

Prof. ANDRÉ MARQUES CAVALCANTI, Doutor (UFPE)

Prof. LUIZ HENRIQUE ALVES DE MEDEIROS, Docteur (UFPE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todos os ensinamentos ao longo da minha vida, e por me apoiarem em todas as minhas decisões pessoais e profissionais.

Agradeço ao meu orientador, Adiel Teixeira de Almeida, por toda a orientação concedida e aprendizado adquirido ao longo da elaboração desta pesquisa.

Agradeço também ao meu noivo, às minhas irmãs, e aos meus companheiros de laboratório. Estes, de alguma forma particular, contribuíram para esta minha conquista pessoal e profissional.

Agradeço ao CNPq pelo pela bolsa de doutorado concedida, e agradeço também à CAPES pelo suporte financeiro para execução das atividades de pesquisa.

RESUMO

Este trabalho propõe um novo método de apoio a decisão multicritério para ordenar alternativas com base em informação parcial a respeito das preferências do decisor, baseado nos conceitos de elicitación flexível do método FITradeoff (Flexible and Interactive Tradeoff), bem como a extensão deste método para resolver problemas de decisão em grupo. O FITradeoff é um método para elicitación de constantes de escala com informação parcial, criado no escopo da Teoria do Valor Multiatributo (MAVT), preservando a fundamentação axiomática do procedimento de tradeoff tradicional. Entretanto, este método apresenta uma limitação: foi desenvolvido para resolver problemas de escolha, apenas, através da verificação da potencial otimalidade das alternativas por meio de problemas de programação linear (PPL). Desta forma, o presente trabalho visa superar esta limitação, e estender o conceito de elicitación flexível para a problemática de ordenação. Para tal, o conceito de relações de dominância par a par entre as alternativas é incorporado ao método FITradeoff de forma que, a cada interação com o decisor, uma ordem parcial – ou completa – das alternativas é encontrada com base em um algoritmo de duas etapas proposto. O método é operado por meio de um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) interativo, o qual oferece uma ferramenta de visualização do ranking das alternativas ao decisor através de um diagrama de Hasse, de forma a facilitar a visualização das relações de dominância entre as alternativas. Tendo em vista a importância da informação de ordenação para o processo de tomada de decisão em grupo, o algoritmo de ordenação proposto é utilizado também para auxiliar na resolução de problemas multicritério de decisão em grupo (MCGDM – multicriteria group decision-making), através de um outro SAD que também será apresentado neste trabalho.

Palavras-chave: Elicitación flexível. FITradeoff. Problemática de ordenação. Decisão em grupo. Sistema de apoio a decisão.

ABSTRACT

This work aims to propose a new multicriteria decision aid (MCDA) method for ranking alternatives based on partial information about the preferences of a decision maker (DM), based on the main concepts of flexible elicitation introduced by the Flexible and Interactive Tradeoff (FITradeoff) method. An extension of this method for dealing with group decision-making is also proposed. The FITradeoff method was created for elicitation of criteria scaling constants based on partial information within the scope of the Multiattribute Value Theory (MAVT). It keeps the whole axiomatic structure of the traditional tradeoff elicitation procedure. However, this method has a drawback: it was originally developed for solving only choice problems, based on the concept of potential optimality. Therefore, this work aims to overcome this limitation, and extend the idea of flexible elicitation for the ranking problematic as well. In order to do so, the concept of pairwise dominance relations between alternatives is incorporated into the mathematical model of FITradeoff, in such a way that, at each interaction, a partial – or complete – order of the alternatives is found, based on a two-step algorithm proposed. The new method is operated by means of an interactive Decision Support System (DSS), which offers a visualization tool for DMs based on a Hasse diagram of the alternatives, in such a way that dominance relations between alternatives can be easily visualized. Due to the importance of the information about the rankings of each DM for group decision making processes, the ranking algorithm proposed here is also used for aiding multicriteria group decision-making (MCGDM) problems, throughout another DSS that is also presented in this work.

Keywords: Flexible elicitation. FITradeoff. Ranking problematic. Group decision. Decision support system.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	JUSTIFICATIVA	10
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos.....	11
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1.1	Decisão Multicritério	14
2.1.2	Sistemas de Apoio a Decisão	17
2.2	REVISÃO DA LITERATURA SOBRE INFORMAÇÃO PARCIAL NO CONTEXTO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E EM GRUPO	18
2.3	SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTE TRABALHO....	27
3	ORDENANDO ALTERNATIVAS POR ELICITAÇÃO FLEXÍVEL COM INFORMAÇÃO PARCIAL.....	28
3.1	DEFINIÇÕES E PROPOSIÇÕES BÁSICAS.....	28
3.2	MÉTODO FITRADEOFF PARA PROBLEMÁTICA DE ESCOLHA.....	33
3.3	UMA NOVA ABORDAGEM PARA A PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO	41
3.3.1	O método	41
3.3.2	O sistema de apoio a decisão.....	46
3.3.3	Aplicação desenvolvida para localização de uma escola técnica	56
3.4	OUTRAS APLICAÇÕES	71
3.4.1	Seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos	71
3.4.2	Localização de uma unidade de saúde pública na cidade de Milão	72
3.4.3	Seleção de pacotes tecnológicos de agricultura no México	73
3.4.4	Outras aplicações do método FITradeoff	74
4	DECISÃO EM GRUPO COM ELICITAÇÃO FLEXÍVEL USANDO INFORMAÇÃO DE ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS.....	75
4.1	DECISÃO EM GRUPO COM FITRADEOFF	75
4.2	SISTEMA DE APOIO A DECISÃO EM GRUPO: APLICAÇÃO ILUSTRATIVA	77
4.2.1	Descrição do problema	77

4.2.2 Processo de decisão	79
4.2.3 Discussão dos resultados	83
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	87
5.1 CONCLUSÕES	87
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	90
REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

Uma das principais preocupações relacionadas a problemas de decisão multicritério abordados com base na Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) ou Teoria do Valor Multiatributo (MAVT) (KEENEY & RAIFFA, 1976) é a eliciação dos valores das constantes de escala dos critérios. Estes parâmetros são, usualmente, chamados também de pesos dos critérios; entretanto, o significado deles não é restringido ao grau de importância dos critérios, pois o range de valores das consequências das alternativas deve também ser levado em consideração para determinação dos valores das constantes de escala.

Existem dois procedimentos principais para eliciação de constantes de escala no modelo aditivo: o procedimento de *tradeoff* (KEENEY & RAIFFA, 1976) e o procedimento de *swing* (VON WINTERFELDT & EDWARDS, 1986). De acordo com estudos comportamentais, o procedimento de *swing* apresenta cerca de 50% de inconsistências quando utilizado, enquanto o procedimento de *tradeoff* apresenta cerca de 67% de inconsistências (BORCHERDING, EPPEL & VON WINTERFELDT, 1991). Em contrapartida, o procedimento de *tradeoff* tem uma forte estrutura axiomática (WEBER & BORCHERDING, 1993), enquanto o procedimento de *swing* foi criado como uma simplificação, com aplicação limitada aos casos de função valor intracritério linear (EDWARDS & BARRON, 1994).

Métodos multicritério que trabalham com informação parcial/imprecisa/incompleta a respeito das preferências do decisor surgiram para facilitar o processo de eliciação, que muitas vezes pode ser tedioso e consumir muito tempo no caso dos métodos que trabalham com informação completa. A grande maioria dos métodos de informação parcial foram criados com base no procedimento de *swing* ou sem um procedimento estruturado de eliciação. O procedimento de *tradeoff* é raramente utilizado, devido à dificuldade que apresenta para o decisor e à alta taxa de inconsistências. O método de eliciação por *tradeoff* interativo e flexível (FITradeoff) (DE ALMEIDA et al., 2016) foi recentemente desenvolvido para melhorar a aplicabilidade do procedimento de *tradeoff* para o decisor, reduzindo a taxa de inconsistências, mas preservando toda a estrutura axiomática deste procedimento. O FITradeoff trabalha com informação parcial a respeito das preferências do decisor, reduzindo a informação requerida durante o processo de eliciação. A informação requerida é, também, cognitivamente mais fácil de ser fornecida.

O método FITradeoff busca, através de problemas de programação linear, alternativas potencialmente ótimas dentro de uma região viável de pesos, com base nas informações de

preferência fornecidas pelo decisor. Apesar de ser o único método de informação parcial para elicitación de constantes de escala no modelo aditivo que preserva a fundamentação axiomática do procedimento de tradeoff tradicional, o FITradeoff apresenta uma limitação: ele foi originalmente desenvolvido para resolver apenas problemas de escolha.

Neste contexto, a ideia principal deste trabalho consiste em estender o conceito de elicitación flexível surgido no FITradeoff para resolver, também, problemas multicritério de ordenação de alternativas, e, ainda, através deste, possibilitar o apoio a problemas de tomada de decisão em grupo com o FITradeoff.

O conceito de potencial otimalidade do método de escolha mostra-se insuficiente para lidar com a problemática de ordenação, dando lugar, assim, a uma nova abordagem com base na busca por relações de dominância par a par entre as alternativas, através de problemas de programação linear. Este trabalho propõe um modelo matemático para ordenar alternativas com base em informação parcial, e apresenta o SAD do FITradeoff de ordenação, explicando, em detalhes, o processo de elicitación pelo qual o decisor passa para resolver o problema de decisão multicritério de ordenação. Em seguida, é mostrado como o algoritmo apresentado pode ser utilizado também para apoiar processos de tomada de decisão em grupo que envolvam múltiplos critérios. Através de aplicações ilustrativas, os sistemas de apoio a decisão para ordenação e decisão em grupo serão apresentados, sendo destacadas as características de flexibilidade que trazem benefícios para o decisor durante o processo de elicitación de preferências.

1.1 JUSTIFICATIVA

O método de elicitación por tradeoff interativo e flexível foi desenvolvido exclusivamente para resolver problemas de decisão multicritério na problemática de escolha. Desta forma, em casos onde o decisor deseja ordenar as alternativas, o método não pode ser utilizado para apoiar o processo de tomada de decisão. Assim, o presente trabalho visa eliminar esta limitação do método FITradeoff, tornando-o apto, também, para resolver problemas de decisão multicritério no contexto da problemática de ordenação.

Além disso, o presente trabalho encara o desafio de ranquear alternativas com informação parcial a respeito das preferências do decisor. Segundo Lopez et al (2017), ordenar alternativas com informação parcial é uma tarefa muito mais complexa do que selecionar uma única alternativa, pois a problemática de ordenação exige, naturalmente, uma quantidade maior de informação sobre as preferências do decisor, razão pela qual grande parte

dos métodos multicritério que lidam com informação parcial foram desenvolvidos apenas para a problemática de escolha. Com base no desenvolvimento de um modelo matemático capaz de identificar relações de dominância par a par entre alternativas, o presente trabalho propõe um algoritmo apto para construir uma ordem parcial – ou completa – das alternativas, para qualquer que seja o nível de informação preferencial obtido até o momento.

Adicionalmente, a tomada de decisão nas organizações frequentemente envolve mais de um ator com poder de decisão, questão esta que torna o processo decisório ainda mais complexo, pois além de objetivos conflitantes, é necessário, ainda, considerar os diversos pontos de vista dos vários decisores envolvidos no processo. Sendo assim, este trabalho propõe também um sistema de apoio a decisão para resolver problemas multicritério de decisão em grupo, com base no método FITradeoff.

Desta forma, o presente trabalho se justifica por expandir a aplicabilidade de um método multicritério de informação parcial cujo processo de elicitação é estruturado, baseado em uma forte fundamentação axiomática e, ao mesmo tempo, de fácil utilização pelo decisor, através do desenvolvimento de uma nova abordagem apta para lidar, também, com a problemática de ordenação de alternativas e tomada de decisão em grupo.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este capítulo tem por objetivo apresentar o objetivo geral e objetivos específicos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é estender o conceito de elicitação flexível para lidar com problemas de ordenação de alternativas e tomada de decisão em grupo, na presença apenas de informação parcial a respeito das preferências do decisor. Desta forma, este trabalho objetiva apresentar o desenvolvimento de um novo método multicritério para a problemática de ordenação baseado nas ideias de elicitação flexível com informação parcial.

1.2.2 Objetivos Específicos

O presente trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos:

- Formalizar conceitos relacionados ao método de elicitação por tradeoff interativo e flexível, através da apresentação de definições, proposições e um teorema, os quais servirão de base para o desenvolvimento do método FITradeoff para ordenação;

- Desenvolver um modelo matemático capaz de encontrar relações de dominância par a par entre as alternativas, a partir de informação parcial a respeito das preferências do decisor;
- Construir um algoritmo capaz de ranquear alternativas a partir das relações de dominância encontradas pelo modelo matemático mencionado anteriormente;
- Apresentar uma ferramenta de visualização simplificada do ranking de alternativas, a qual tem por objetivo apoiar o processo decisório;
- Apresentar o Sistema de Apoio a Decisão (SAD) através do qual o método FITradeoff para ordenação é operacionalizado, bem como suas principais características de flexibilidade.
- Apresentar um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) para apoiar a resolução de problemas multicritério de decisão em grupo (MCGDM), com base no modelo matemático de ordenação proposto.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 5 capítulos a seguir:

O Capítulo I, a Introdução, apresenta o contexto no qual o presente trabalho está inserido, bem como as justificativas, motivações e objetivos deste trabalho.

O Capítulo II apresenta a fundamentação teórica deste trabalho, trazendo os principais conceitos relacionados a decisão multicritério, além de trazer o mapeamento do estado da arte a respeito dos principais trabalhos desenvolvidos para lidar com informação parcial no contexto de decisão multicritério.

O Capítulo III apresenta a formalização dos principais conceitos relacionados ao método FITradeoff; em seguida, o método FITradeoff para escolha é apresentado; e, finalmente, a nova abordagem para resolver problemas de ordenação com base no FITradeoff é apresentada: primeiro, o algoritmo de ordenação é proposto; em seguida, o sistema de apoio a decisão é apresentado e, por fim, a aplicação do novo método é ilustrada através de um problema multicritério de localização de instalações.

O Capítulo IV apresenta a extensão do método FITradeoff para resolver problemas de decisão em grupo através de um sistema de apoio a decisão, com base no algoritmo de ordenação desenvolvido no capítulo III e nas ferramentas de flexibilidade do sistema.

O Capítulo V, por fim, apresenta as principais conclusões deste trabalho e sugestões para possíveis trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta uma fundamentação teórica que traz um embasamento conceitual relacionado aos temas de decisão multicritério, e sistemas de apoio a decisão, com as principais referências nos temas. É feito também um mapeamento do estado da arte das abordagens que tratam de informação parcial/incompleta/imprecisa no escopo de decisão multicritério.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho explana os principais conceitos relacionados aos seguintes tópicos: decisão multicritério e sistemas de apoio a decisão.

2.1.1 Decisão Multicritério

Problemas de decisão multicritério são caracterizados por situações em que existem duas ou mais alternativas de ação para serem escolhidas, ordenadas, ou classificadas, e múltiplos critérios conflitantes envolvidos (DE ALMEIDA, 2013). A presença de um decisor com uma estrutura de preferências também é uma característica fundamental de um problema de decisão multicritério, sendo o que o diferencia dos problemas de otimização convencionais da pesquisa operacional. O julgamento de valores do decisor será utilizado, no processo decisório, para escolher, ordenar ou classificar as alternativas da melhor forma, de acordo com sua estrutura de preferências, considerando o compromisso entre os múltiplos objetivos envolvidos.

O Quadro 1 ilustra um modelo de matriz de consequências de um problema de decisão multicritério com n alternativas ($A_1, A_2, \dots, A_n$) e m critérios ($c_1, c_2, \dots, c_m$). Cada alternativa é avaliada com relação a cada critério c_j ; o valor desta avaliação é representado na matriz como a_{ij} .

Quadro 1 - Matriz de consequências em um problema de decisão multicritério

Alternativas	Critérios			
	c_1	c_2	...	c_m
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1m}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2m}
...	...	...	...	...
A_n	x_{n1}	x_{n2}	...	x_{nm}

Fonte: A Autora.

Existe uma série de métodos de apoio a decisão que foram desenvolvidos para lidar com problemas multicritério, os quais buscam auxiliar o decisor na resolução de problemas de decisão onde várias alternativas e múltiplos critérios estão envolvidos. Em geral, existem duas linhas principais de métodos multicritério de apoio a decisão: os métodos de agregação a critério único de síntese e os métodos de sobreclassificação (DE ALMEIDA *et al.*, 2015). O foco deste trabalho concentra-se em uma classe específica de métodos multicritério: aqueles que utilizam o modelo de agregação aditivo determinístico, que são métodos de agregação a critério único de síntese. Esta abordagem é utilizada quando a racionalidade do decisor permite que um pior desempenho em um critério seja compensado por um melhor desempenho em outro critério, ou seja, quando o decisor possui uma racionalidade compensatória.

Em modelos aditivos determinísticos, no escopo da Teoria do Valor Multiatributo (MAVT) (KEENEY & RAIFFA, 1976), as alternativas recebem um valor global, os quais são calculados com base na equação 2.1.

$$v(A_i) = \sum_{j=1}^m w_j v_j(A_i) \quad (2.1)$$

O valor global da alternativa A_i é calculado através da soma ponderada das constantes de escala dos critérios w_j pelo valor $v_j(A_i)$ que representa o payoff da alternativa A_i no critério c_j . v_j representa a função valor do critério c_j , obtida através de uma avaliação intracritério, normalizada de acordo com uma escala intervalar, onde a pior consequência tem

valor 0 a melhor consequência tem valor 1. Esta normalização se faz necessária porque critérios diferentes podem estar definidos em escalas diferentes de valores (exemplo: reais, metros quadrados, dias, etc.). As constantes de escala dos critérios w_j também devem ser normalizadas, de acordo com a equação 2.2:

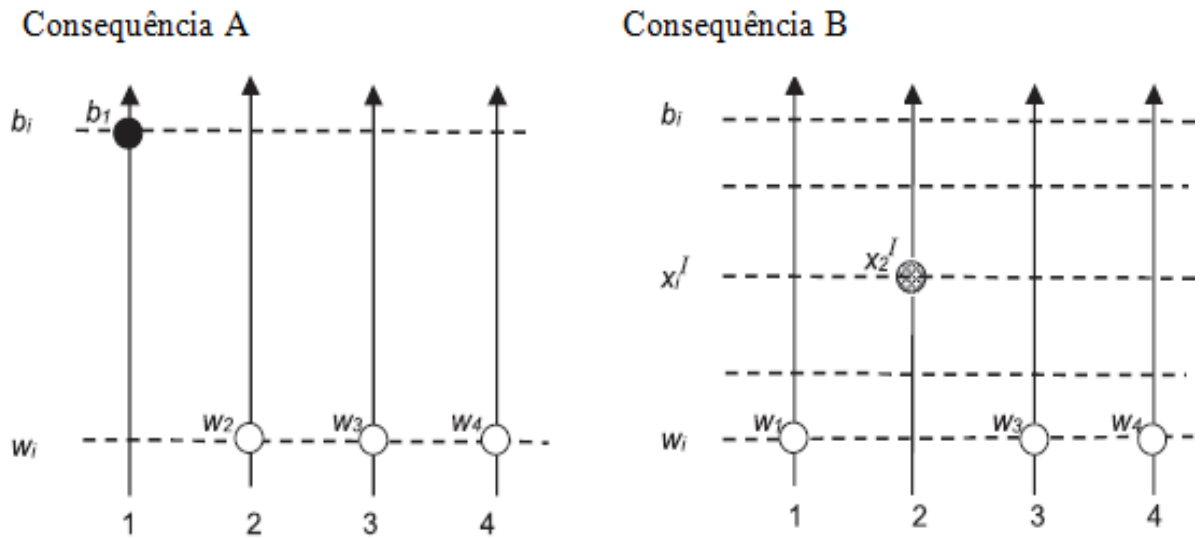
$$\sum_{j=1}^m w_j = 1; w_j \geq 0 \quad (2.2)$$

A solução do problema de escolha será a alternativa que obtiver maior valor global $v(A_i)$. Na problemática de ordenação, as alternativas serão ranqueadas em ordem decrescente de $v(A_i)$. Já na problemática de classificação, as alternativas serão classificadas com base no valor global dos perfis das classes.

Existe, entretanto, um desafio principal na resolução de problemas de decisão multicritério por modelos aditivos: a determinação dos valores das constantes de escala dos critérios (DE ALMEIDA *et al.*, 2016). A dificuldade de determinação dos valores das constantes de escala ocorre porque eles não significam apenas o grau de importância dos critérios, mas o range de valores das consequências das alternativas nos critérios deve também ser levado em consideração na determinação destes parâmetros. Então, para determinar os valores de w_j , as preferências do decisor devem ser avaliadas, levando em consideração tradeoffs entre os valores das consequências em cada critério. É isso que é feito no procedimento de elicitación por tradeoffs, desenvolvido por Keeney & Raiffa (1976). Este é o procedimento de elicitación de constantes de escala mais robusto axiomáticamente, e admite a incorporação de função valor intracritério linear ou não linear, diferente do que ocorre no procedimento de swing (VON WINTERFELDT & EDWARDS, 1986).

No procedimento de tradeoff, o decisor compara alternativas hipotéticas (ou consequências), considerando tradeoffs entre os valores dos critérios. A Figura 1 mostra um exemplo de duas consequências comparadas no procedimento de tradeoff, para um problema com quatro critérios. A Consequência A apresenta pior desempenho (W) para os critérios 2, 3 e 4, e melhor desempenho (b) para o critério 1, de tal forma que o valor global de A, de acordo com a equação (2.1) será $v(A) = w_1$. Já a Consequência B apresenta pior desempenho para os critérios 1, 3 e 4, e um desempenho intermediário para o critério 2, de forma que o valor global da consequência B será $v(B) = w_2 v_2(X_2)$.

Figura 1– Consequências comparadas no procedimento de tradeoff



Fonte: Adaptada de de Almeida et al. (2016)

Assumindo que o decisor declarou que o melhor desempenho do critério 2 é preferível ao melhor desempenho do critério 1 de acordo com suas preferências, então, diminuindo aos poucos o valor do critério 2, em algum momento obter-se-á um valor X_2^I para o qual a consequência A é indiferente à consequência B, de forma que $v(A) = v(B)$, e então a equação $w_1 = w_2 v_2(X_2^I)$ é obtida. A ideia do procedimento de tradeoff tradicional é que o decisor compare consequências, encontrando estes pontos de indiferença para formar equações. Com pelo menos $m - 1$ equações deste tipo, mais a equação (2.2) de normalização dos pesos, é possível resolver um sistema de equações e encontrar os valores das constantes de escala w_j . Obtidos os valores de w_j , basta efetuar a agregação aditiva de acordo com (2.1) para obter os valores globais de cada alternativa, e assim está resolvido o problema multicritério.

2.1.2 Sistemas de Apoio a Decisão

Os sistemas de informação conseguem disponibilizar informações com agilidade e precisão, o que é cada vez mais desejável nas organizações, e, por isso, estes sistemas assumem papel essencial nas mais diversas organizações e empresas atuais, exercendo um grande impacto da estratégia corporativa das mesmas (DE ALMEIDA & RAMOS, 2002).

Todo sistema possui elementos de entrada, processamento e elementos de saída. Nos sistemas de informação, os elementos de entrada são dados que serão manipulados a fim de

atingir os objetivos do sistema. O sistema processa estes dados de entrada, transformando-os em informações através de cálculos, comparações e armazenamento. Estes dados e informações processadas serão os elementos de saída do sistema de informação, normalmente na forma de consultas e relatórios (DE ALMEIDA & RAMOS, 2002).

Sprague & Watson (1989) abordam sobre os vários tipos de sistemas de informação existentes. Dentre estes, devem ser destacados os Sistemas de Apoio a Decisão (SAD), que são utilizados para apoiar a tomada de decisão em qualquer nível, em problemas semiestruturados ou não estruturados (DAVIS, 1985). Neste trabalho, será mostrado um SAD interativo desenvolvido para apoiar a tomada de decisão em problemas multicritério, na problemática de ordenar alternativas.

De acordo com Bidgoli (1989), os três tipos principais de Sistemas de Apoio a Decisão são:

1. Baseados em dados: buscam realizar comparações entre dados atuais, dados passados e dados que se queira alcançar;
2. Baseados em análise de informações: buscam utilizar bases de dados para orientar a tomada de decisão;
3. Baseados em modelos: buscam utilizar modelos com relações e fórmulas já bem definidas para apoiar a tomada de decisão.

O SAD abordado neste trabalho é do tipo de sistema de apoio a decisão baseado em modelos, que operacionaliza um método multicritério para tomada de decisão na problemática de ordenação, com base em informação preferencial fornecida pelo decisor.

2.2 REVISÃO DA LITERATURA SOBRE INFORMAÇÃO PARCIAL NO CONTEXTO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO E EM GRUPO

O método de tradeoff interativo e flexível abordado neste trabalho encontra-se dentro de uma gama de métodos multicritério que lidam com informação parcial/incompleta/imprecisa do decisor. Assim, esta revisão da literatura tem por objetivo introduzir as principais abordagens relacionadas a informação parcial em MCDM.

A elicitação dos valores das constantes de escala dos critérios no modelo aditivo é o maior desafio relacionado à resolução de problemas multicritério no escopo de MAVT/MAUT. Fornecer a informação precisa exigida por métodos tradicionais, como, por

exemplo, valores de indiferença entre duas consequências no procedimento de tradeoff tradicional (KEENEY & RAIFFA, 1976), não é uma tarefa fácil para o decisor, e pode ser que ele não seja capaz de fornecer tais informações de forma consistente, no nível de detalhe requerido por estes métodos (WEBER, 1987; BELTON & STEWART, 2002). A informação requerida por métodos tradicionais pode ser tediosa para o decisor, além do processo de elicitación consumir muito tempo, o que pode desencorajá-lo a encarar um processo estruturado de tomada de decisão (KIRKWOOD & SARIN, 1985; SALO & HAMALAINEN, 1992; KIRKWOOD & CORNER, 1993; KIM & AHN, 1999). O alto esforço cognitivo demandado do decisor na elicitación também leva a uma alta taxa de inconsistências no processo, de acordo com estudos comportamentais (BORCHERDING, EPPEL & VON WINTERFELDT, 1991).

Todas estas questões motivaram o desenvolvimento de métodos multicritério que trabalham com informação parcial, incompleta ou imprecisa a respeito das preferências do decisor para estimar a função valor/utilidade. Estas abordagens comportam situações onde o decisor não possui uma estrutura de preferências bem definida, e, portanto, não consegue fornecer a informação detalhada requerida pelos métodos tradicionais (WEBER, 1987). Em geral, o objetivo das abordagens que utilizam informação parcial é reduzir a lacuna entre metodologias teóricas de apoio a decisão e a tomada de decisão na prática, tornando o processo decisório cognitivamente mais fácil para o decisor. Vários métodos multicritério de informação parcial foram desenvolvidos na literatura.

Kirkwood & Sarin (1985) desenvolveram um método para ordenar alternativas com base em informação parcial, a partir de problemas de programação linear. Os autores apresentaram um algoritmo de quatro passos para construir um ranking parcial das alternativas a partir da informação sobre a ordenação das constantes de escala.

Salo & Hamalainen (1992) criaram o método PAIRS (*Preference Assessment by Imprecise Ratio Statements*), que trabalha com julgamentos do decisor sobre intervalos para os valores dos pesos, o que é mais fácil do que a especificação de valores exatos. A partir desta informação, é possível encontrar relações de dominância por meio de problemas de programação linear. O método PRIME (*Preference Ratios In Multiattribute Evaluation*, SALO & HAMALAINEN, 2001) trabalha com julgamentos holísticos por parte do decisor, os quais são feitos com base nos valores das alternativas em cada critério. Similarmente ao método PAIRS, este método trabalha com relações de dominância entre as alternativas. A recomendação ao decisor é dada com base em uma informação relacionada a uma possível

perda de valor associada a determinada alternativa, sendo esta a principal característica que diferencia o método PRIME do método PAIRS.

O método RICH (*Rank Inclusion in Criteria Hierarchies*) foi desenvolvido por Salo & Punkka (2005), que propuseram uma abordagem para lidar com informação parcial na presença de critérios hierarquizados. Neste método, o decisor especifica o subconjunto de critérios ao qual pertence o critério de maior peso, sem precisar especificar necessariamente qual é o critério. No RICH, as recomendações de decisão são dadas com base em regras de decisão e relações de dominância. Punkka & Salo (2013) abordaram o caso em que a informação fornecida pelo decisor resulta em um conjunto de valores não-convexo, então eles desenvolveram uma formulação de programação inteira mista para modelar o problema.

Mustajoki (2012) desenvolveu um estudo sobre os efeitos de informação imprecisa em modelos hierárquicos, baseado no método PAIRS. Informação parcial no escopo de estruturas hierárquicas também foi assunto abordado por Salo & Hamalainen (1995); Ahn et al. (2000) e Kim & Han (2000).

Já na abordagem proposta por Mármol, Puerto & Fernández (2002), a informação é fornecida de forma sequencial pelo usuário, de forma que ele vai aprendendo mais sobre o processo de decisão ao ver os efeitos causados pelas informações passadas fornecidas por ele, e assim é possível que ele reavalie e aprimore suas preferências ao longo do processo.

Com base nas ideias do procedimento de elicitação por swing, Mustajoki, Hamalainen & Salo (2005) desenvolveram o método Interval SMART/SWING, em que o decisor designa um critério de referência qualquer, com o qual devem ser comparados os demais critérios. Diferentemente do procedimento tradicional de swing, este critério de referência não precisa ser, necessariamente, o critério mais importante. Além disso, as comparações são feitas na forma de intervalo através de julgamentos imprecisos.

Bana e Costa & Vasnick (1994) propuseram o método MACBETH, no qual o decisor, através de uma escala semântica, declara diferença de atratividade entre as alternativas, par a par. Estes julgamentos qualitativos são transformados em uma escala quantitativa, e então é rodado um modelo de programação linear, os quais procuram encontrar resultados consistentes para que seja fornecida uma recomendação ao decisor. Ao contrário de métodos tradicionais de comparação par a par, como o AHP (SAATY, 1980), o MACBETH trabalha com julgamentos qualitativos, argumentando que são mais fáceis de serem fornecidos do que valores exatos de números que representem intensidade de preferências.

Com base nas ideias da teoria da utilidade multiatributo (MAUT), os autores White III & Holloway (2008) desenvolveram o método ISMAUT – *Imprecisely Specified MAUT*, o qual trabalha com informações sobre pesos e funções valor através de um conjunto de inequações lineares. Os decisores fornecem estas informações através de um processo de perguntas e respostas, que é definido de acordo com um processo de Markov.

Dias & Climaco (2000) desenvolveram o software VIP (*Variable Independent Parameters*) Analysis, o qual trabalha com redução progressiva do número de alternativas, baseado em informação imprecisa a respeito das preferências do decisor. Esta informação é dada na forma de limites, inequações e equações lineares, os quais agem como restrições para problemas de programação linear.

Park & Kim (1997) propuseram um método iterativo para ordenação de alternativas utilizando grafos de dominância. Estes grafos são construídos com base na informação de dominância computada a partir de regras de decisão e problemas de programação linear. O método considera que a informação parcial fornecida pelo decisor pode ser tanto sobre pesos dos critérios ou sobre a função valor/utilidade. Malakooti (2000) apresentou um algoritmo de dez passos para ordenar e classificar alternativas com base em programação matemática. Informação parcial é fornecida pelo decisor a partir declarações de intensidade de preferência e outras perguntas, de forma que inequações lineares possam representar a informação fornecida. Hazen (1986) definiu conceitos importantes sobre dominância e potencial otimalidade em situações onde apenas informação parcial sobre os valores dos pesos é fornecida. Esta questão foi também abordada por Eum, Park & Kim (2001), que utilizam informações sobre ordem dos pesos e inequações lineares arbitrárias para atuarem como restrições em problemas de programação linear.

Os chamados métodos de intensidade de dominância - ou *dominance intensity methods* - (AGUAYO, MATEOS & JIMENEZ, 2014; JIMENEZ, MATEOS & SABIO, 2013; MATEOS et al, 2014) consideram informação incompleta a respeito das constantes de escala dos critérios para encontrar relações de dominância par a par, e assim criar uma intensidade de dominância para construir um ranking das alternativas. Outras abordagens baseadas em relações de dominância com informação parcial para ordenar alternativas foram propostas por Athanassopoulos & Podinovski (1997); Park, Kim & Yoon (1997); Park (2004); Ahn & Park (2008); Li et al (2012).

Montiel & Bickel (2014) apresentaram um processo de simulação de Monte Carlo para testar a sensibilidade de funções utilidade multilíneares com relação à mudanças nos valores

das constantes de escala. Neste método, qualquer forma de informação parcial capaz de ser escrita na forma de inequação linear é permitida.

Abordagens baseadas no cálculo de pesos substitutos também são comuns na esfera da informação incompleta de preferências. No método SMARTER (EDWARDS & BARRON, 1994), os critérios são ordenados com base no procedimento de swing de acordo com as preferências do decisor, e então pesos substitutos são calculados com base no Rank Ordered Centroid (ROC). Desta forma, a única informação preferencial fornecida é a da ordenação das constantes de escala, o que torna o processo mais fácil. Outras abordagens baseadas em pesos substitutos foram apresentadas por Stillwell, Seaver & Edwards (1981), o Rank Sum (RS) e o Rank Reciprocal (RR). Danielson et al. (2014) propuseram o método CROC, o qual incorpora informação cardinal numérica imprecisa ao ROC. Danielson and Ekenberg (2017) argumentam que utilizar informação ordinal, apenas, pode ser muito vago ou impreciso, o que leva a uma avaliação não muito confiável das alternativas. Estes autores propuseram o método CSR, o qual calcula pesos substitutos incorporando também informações sobre força de preferência. Este método se mostrou robusto e estável em comparação a outros métodos que usam pesos substitutos (DANIELSON & EKENBERG, 2017).

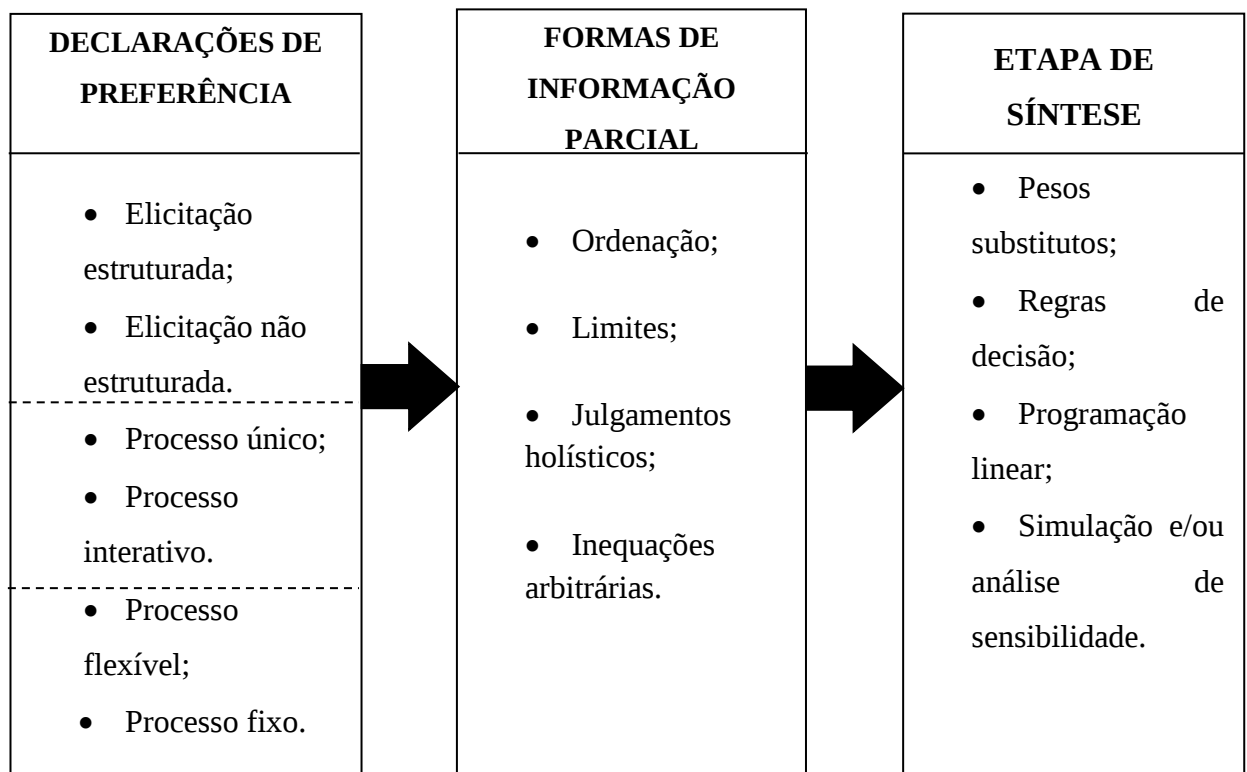
Sarabando & Dias (2009) compararam diferentes regras de decisão para problemas multicritério em situações de informação parcial, e uma de suas conclusões foi que o ROC é uma das regras que apresenta melhor performance. Sarabando & Dias (2010) propuseram novas regras de decisão baseadas no ROC para problemas onde apenas informação parcial está disponível a respeito dos pesos dos critérios e dos valores das alternativas nos critérios.

Na maioria dos métodos de informação parcial mencionados acima, as declarações sobre preferência são fornecidas pelo decisor de várias formas diferentes e, em geral, não existe um procedimento estruturado para guiar o processo de elicitacão. Em alguns casos, o processo de elicitacão é estruturado com base no procedimento de swing (VON WINTERFELDT & EDWARDS, 1986), o qual utiliza aproximações lineares para funções valor unidimensionais (EDWARDS & BARRON, 1994). O procedimento de elicitacão por tradeoffs (KEENEY & RAIFFA, 1976) possui um processo de elicitacão estruturado, com base em uma forte estrutura axiomática. Entretanto, apresenta uma alta taxa de inconsistências quando aplicado, por isso é raramente utilizado. Visando diminuir esta taxa de inconsistências através de um processo de elicitacão cognitivamente mais fácil para o decisor, de Almeida et al. (2016) desenvolveram o método FITradeoff (Flexible and Interactive Tradeoff). Este método mantém a mesma estrutura e fundamentação axiomática do tradeoff tradicional, mas

melhora a sua aplicabilidade para o decisor, reduzindo a quantidade de informação requerida durante o processo, além de trabalhar com uma informação mais fácil de ser fornecida. Uma forte limitação deste método foi ter sido desenvolvido para lidar apenas com problemas de escolha. A extensão das ideias de elicitación flexível com informação parcial para a problemática de ordenação é um dos principais objetivos deste trabalho. O entendimento do método FITradeoff para escolha é de suma importância para este trabalho, e será apresentado em detalhes no capítulo 3.

De Almeida et al. (2016) apresentaram um framework para classificação de métodos multicritério de informação parcial em modelos aditivos. Este framework está ilustrado na Figura 2, e classifica os métodos com relação ao processo de declaração de preferências, formas de informação parcial, e etapa de síntese.

Figura 2– Framework para classificação de métodos de informação parcial



Fonte: Adaptado de de Almeida et al. (2016).

A classificação de declarações de preferência é dividida em três subclassificações. A primeira subclassificação é referente à estrutura do processo de elicitación: um processo de elicitación é estruturado se ele se baseia em algum mecanismo de suporte organizado para

guiar o processo no qual o decisor declara suas preferências. Por exemplo, métodos baseados no procedimento de swing ou tradeoff podem ser considerados como estruturados. Em outros casos, a elicitação é conduzida de maneira não estruturada, assumindo-se que a informação é previamente conhecida ou que o decisor fornece informações de qualquer forma, a qualquer tempo durante o processo. A segunda subclassificação diz respeito à interatividade do processo de elicitação: nos métodos interativos, o decisor fornece informações interativamente, de forma que, a cada interação, uma nova informação é fornecida por ele, e novos resultados são computados com base nas informações adicionais; já nos métodos onde o processo de fornecimento de informação é único, a informação é fornecida pelo decisor de uma vez só, e não há ciclos interativos. A terceira subclasse, finalmente, diz respeito à flexibilidade do processo. Processos flexíveis permitem que o decisor conduza a elicitação com mais liberdade, sem precisar seguir, necessariamente, um processo fixo.

A segunda classificação é relacionada à forma de informação parcial fornecida pelo decisor no processo de elicitação. A informação pode ser fornecida de várias formas diferentes, como: ordenação das constantes de escala, limites dos valores das constantes de escala, julgamentos holísticos a respeito das alternativas ou até mesmo inequações lineares arbitrárias a respeito dos pesos e/ou da função valor. Esta etapa do processo de elicitação representa a interface entre declarações e preferência e a etapa de síntese.

A terceira e última classificação diz respeito à etapa de síntese da informação fornecida pelo decisor. Alguns métodos utilizam pesos substitutos baseados apenas na informação de ordenação das constantes de escala. Outros métodos utilizam regras de decisão a fim de elaborar recomendações para o decisor. Outra técnica muito utilizada é a incorporação da informação obtida de ordenação, limites ou inequações arbitrárias com restrições para problemas de programação linear, a fim de encontrar relações de dominância e/ou potencial otimalidade. Alternativamente, alguns métodos sintetizam a informação fornecida através de simulação e análise de sensibilidade, para verificar a robustez dos resultados obtidos.

O Quadro 2 ilustra a classificação dos métodos citados anteriormente nesta seção, de acordo com o framework da Figura 2.

Mármol et al. (2002)														
Salo & Punkka (2005)														
Park (2004)														
Mustajoki et al. (2005)														
Ahn & Park (2008)														
White III & Holloway (2008)														
Sarab&o & Dias (2010)														
Jimenez et al. (2013)														
Punkka & Salo (2013)														
Danielson et al (2014)														
Aguayo et al. (2014)														
Montiel & Bickel (2014)														
Mateos et al. (2014)														
de Almeida et al. (2016)														
Danielson & Ekenberg (2017)														

Fonte: A Autora.

A partir do Quadro 2, é possível observar que, com relação à declaração de preferências, 81% dos métodos analisados tem um processo de elicitación não-estruturado, assumindo que a informação é previamente fornecida pelo decisor sem um processo específico para tal. 66% dos métodos não tem um processo interativo com o decisor, e a informação é fornecida de uma vez só. Além disso, cerca de 75% dos métodos operam através de um processo fixo, sem flexibilidade para o decisor. O método FITradeoff merece destaque neste contexto, pois tem um processo de elicitación estruturado baseado em tradeoffs, é operado através de um SAD interativo e fornece diversas ferramentas de flexibilidade ao decisor, conforme será mostrado no Capítulo 3. Com relação às formas de informação parcial, a maioria dos métodos utiliza

ordenação dos pesos (75%), limites dos pesos (59%) e inequações arbitrárias (66%). Julgamentos holísticos são considerados por apenas 19% dos métodos. Para a etapa de síntese de informação, a maioria dos métodos (78%) utiliza modelos de programação linear a fim de encontrar relações de dominância e/ou potencial otimalidade. Apenas 19% dos métodos são baseados em pesos substitutos e regras de decisão. Simulação e análise de sensibilidade são os procedimentos menos utilizados, estando presentes em apenas 9% dos métodos.

2.3 SÍNTESE DO ESTADO DA ARTE E POSICIONAMENTO DESTE TRABALHO

A partir da análise do estado da arte dos métodos de elicitação que exigem apenas informação parcial a respeito das preferências do decisor, é possível observar que a grande maioria dos métodos não possui um procedimento de elicitação estruturado, o que significa que as informações de preferência são fornecidas pelo decisor de forma arbitrária. De uma minoria de métodos que possui uma elicitação de estruturada, a maior parte utiliza o procedimento de swing para estruturar o procedimento de elicitação. No procedimento de swing, é assumido que as preferências dos decisores no que diz respeito à avaliação intracritério é dada de forma linear, ou seja, o procedimento não comporta casos em que a função valor intracritério assume uma forma não linear. Portanto, diz-se que este procedimento leva ao chamado erro de modelagem (EDWARDS & BARRON, 1994), enquanto o procedimento de tradeoff leva ao chamado erro de elicitação, devido à alta dificuldade das perguntas que o decisor precisa responder durante o processo, o que leva a uma alta taxa de inconsistências. O FITradeoff, por sua vez, busca reduzir este erro de elicitação através de um procedimento de perguntas e respostas mais fácil para o decisor, buscando apenas informações de preferência estrita, ao mesmo tempo que preserva a estrutura axiomática do procedimento de tradeoff tradicional.

Neste contexto, a contribuição adicional deste trabalho considerando os métodos já existentes na literatura é poder expandir a aplicabilidade do FITradeoff, tornando-o apto também para resolver problemas de decisão multicritério na problemática de ordenação e para a tomada de decisão em grupo, visto que estas duas situações têm uma complexidade consideravelmente maior do que situações na problemática de escolha em problemas de decisão individual.

3 ORDENANDO ALTERNATIVAS POR ELICITAÇÃO FLEXÍVEL COM INFORMAÇÃO PARCIAL

A problemática de ordenação (P_γ) consiste em alocar alternativas em ordem crescente, de acordo com uma determinada estrutura de preferências (ROY, 1996). O método FITradeoff, citado na seção 2.2, foi recentemente desenvolvido por de Almeida et al. (2016) para elicitação de constantes de escala no modelo aditivo exclusivamente em problemas de escolha. Para a problemática de ordenação, o desafio é ainda maior, pois, em geral, uma quantidade maior de informação é requerida por parte do decisor para que todas as alternativas possam ser ranqueadas, quando comparado a problemas de escolha (LOPEZ et al., 2017).

Neste contexto, este capítulo mostra como a ideia de elicitação flexível com informação parcial utilizada no método FITradeoff pode ser estendida para resolver, também, problemas de ordenação (FREJ, DE ALMEIDA & COSTA, 2019). Primeiramente, a seção 3.1 apresenta definições e proposições básicas necessárias para o entendimento do método FITradeoff para escolha e desenvolvimento da nova abordagem para ordenação; em seguida, a seção 3.2 apresenta o método para a problemática de escolha e, na seção 3.3, é desenvolvida a nova abordagem para o FITradeoff na problemática de ordenação. A apresentação do FITradeoff para ordenação é dividida em três etapas: apresentação do modelo matemático, apresentação do sistema de apoio a decisão e, finalmente, uma aplicação ilustrativa do método é apresentada para mostrar o seu funcionamento na prática.

3.1 DEFINIÇÕES E PROPOSIÇÕES BÁSICAS

Em um problema de decisão multicritério, seja A um conjunto de n alternativas A_i , avaliadas em m critérios $(c_1, c_2, \dots, c_m)$. Modelos aditivos no escopo de MAVT atribuem scores diretos a cada alternativa A_i , através da soma ponderada das constantes de escala – ou pesos – dos critérios c_j pelo valor que representa a consequência da alternativa A_i no critério c_j , através de uma função valor v_j normalizada em uma escala intervalar de 0 a 1. Desta forma, o valor global da alternativa A_i pode ser calculado de acordo com a equação 3.1, a qual se trata de uma transcrição da equação 2.2 no espaço de consequências.

$$v(A_i) = \sum_{j=1}^m w_j v_j(x_{ij}) \quad (3.1)$$

Como será visto na seção 3.2, o método FITradeoff trabalha com informação parcial/incompleta com relação aos pesos dos critérios, de forma que não se tem valores exatos de pesos para cada um dos critérios, mas sim um espaço de pesos Φ composto pelo conjunto de vetores de pesos admissíveis de acordo com o nível de informação parcial fornecido pelo decisor.

Para as definições e proposições apresentadas na sequência, considere $\mathbf{w}$ um vetor de pesos qualquer admissível dentro do espaço Φ , $\mathbf{w} \in \Phi \mid \mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_m)$.

Definição 1: *Alternativa potencialmente ótima.* Uma alternativa $A_i \in S$ é uma alternativa potencialmente ótima em S se e somente se seu valor global (3.1) for maior ou igual ao valor global de todas as outras alternativas de S , simultaneamente, para pelo menos um vetor de pesos $\mathbf{w}^* \in \Phi$.

Definição 2: *Alternativa dominada.* Uma alternativa $A_i \in S$ é dominada por alguma outra alternativa $A_k \in S$ se e somente se o valor global de A_i (3.1) é menor do que o valor global de A_k para todos os vetores $\mathbf{w}$ admissíveis dentro do espaço de pesos Φ .

Definição 3: *Alternativa não dominada.* Uma alternativa $A_i \in S$ é uma alternativa não dominada em S se e somente se A_i não for dominada por nenhuma outra alternativa $A_k \in S$ de acordo com a Definição 2. Ou seja, A_i é não dominada em S se e somente se o valor global de A_i (3.1) é maior ou igual ao valor global de cada alternativa $A_k \in S$ ($k = 1, \dots, n, k \neq i$) para pelo menos um vetor de pesos $\mathbf{w}_k^* \in \Phi$.

Definição 4: *Relação de preferência.* Uma relação de preferência entre duas alternativas em S é definida de tal forma que $A_i P A_k$ se e somente se A_k é dominada por A_i , de acordo com a Definição 2. Ou seja:

$$A_i P A_k \leftrightarrow v(A_i) \geq v(A_k) \forall \mathbf{w} \in \Phi. \quad (\text{i})$$

com inequação estrita para pelo menos um vetor $\mathbf{w} \in \Phi$.

Definição 5: *Relação de indiferença.* Seja $\varepsilon \geq 0$ um limiar de indiferença estabelecido pelo decisor. Uma relação de indiferença entre duas alternativas em S é definida de tal forma que $A_i I A_k$ se e somente se, para todos os vetores de pesos $\mathbf{w} \in \Phi$, a diferença entre o valor global (3.1) de A_i e A_k , em valor absoluto, é menor ou igual a ε . Ou seja:

$$A_i I A_k \leftrightarrow |v(A_i) - v(A_k)| \leq \varepsilon \forall \mathbf{w} \in \Phi \quad (\text{ii})$$

Definição 6: *Relação de incomparabilidade.* Duas alternativas quaisquer $A_i, A_k \in S$ são consideradas incomparáveis para o corrente nível de informação parcial obtido se e somente se as condições (i) e (ii) não se aplicam para o par de alternativas A_i, A_k .

É importante esclarecer a questão da incomparabilidade neste caso. O FITradeoff é um método multicritério de agregação a critério único de síntese, o qual utiliza o modelo aditivo determinístico e, portanto, a estrutura de preferências (P, I), sem incomparabilidade, é a mais adequada (DE ALMEIDA et al., 2015). Entretanto, trata-se de um método que utiliza informação parcial a respeito das preferências do decisor, e a incomparabilidade surge, justamente, devido à falta de informação para que sejam determinadas relações de preferência e/ou indiferença. Métodos tradicionais em MAUT/MAVT que utilizam informação completa a respeito das preferências do decisor, a exemplo do procedimento de tradeoff tradicional (KEENEY & RAIFFA, 1976), possuem informação suficiente para comparar todas as alternativas entre si, e, desta forma, a incomparabilidade não ocorre. No FITradeoff, duas alternativas podem ser incomparáveis porque o atual nível de informação fornecido pelo decisor não é suficiente para determinar uma relação de preferência ou indiferença entre elas; entretanto, ao longo do processo, é possível que o decisor forneça informações adicionais de forma que a incomparabilidade não seja mais válida, se uma relação de preferência estrita ou indiferença houver sido encontrada.

As proposições descritas a seguir são baseadas nas Definições de 1 a 6 apresentadas anteriormente.

Proposição 1. Uma alternativa potencialmente ótima em S (Definição 1) não é dominada por nenhuma outra alternativa em S (Definição 3). Ou seja, uma alternativa potencialmente ótima em S é, necessariamente, uma alternativa não dominada em S .

Prova. Seja A_i uma alternativa potencialmente ótima de S . Então, de acordo com a Definição 1, existe ao menos um vetor de pesos $\mathbf{w}^* \in \Phi$ para o qual $v(A_i) \geq v(A_k) \forall k = 1, 2, \dots, n, k \neq i$. Isto implica que existe pelo menos um vetor de pesos $\mathbf{w}_1^* \in \Phi$ para o qual $v(A_i) \geq v(A_1)$, pelo menos um vetor de pesos $\mathbf{w}_2^* \in \Phi$ para o qual $v(A_i) \geq v(A_2)$, e assim por diante, para todas as alternativas $A_k \in S, k \neq i$, de forma que:

$$\mathbf{w}_1^* = \mathbf{w}_2^* = \dots \mathbf{w}_n^* = \mathbf{w}^*$$

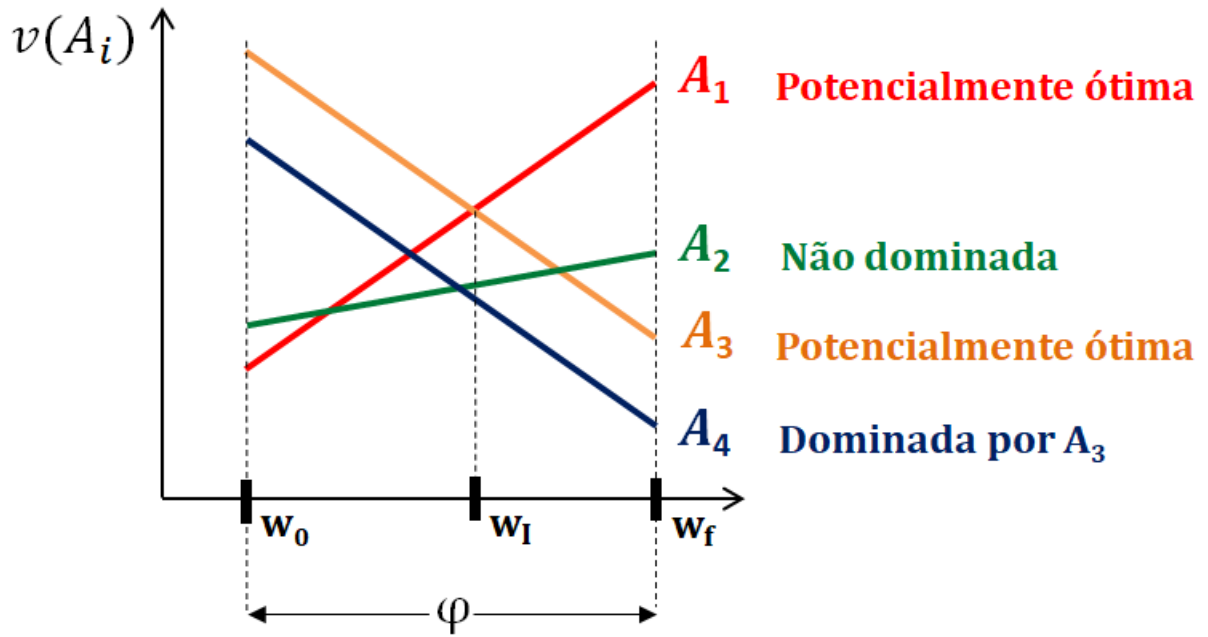
A existência de $\mathbf{w}_k^* \forall k, k \neq i$, assegura que A_i não é dominada por nenhuma outra alternativa A_k e, portanto, A_i é uma alternativa não dominada em S .

Proposição 2. Uma alternativa que não é potencialmente ótima em S (Definição 1) pode não ser dominada por nenhuma outra alternativa de S (Definição 3). Ou seja, uma alternativa não dominada em S não necessariamente é uma alternativa potencialmente ótima em S .

Prova. Se uma alternativa $A_i \in S$ não é dominada por nenhuma outra alternativa $A_k \in S$ ($k = 1, 2, \dots, n, k \neq i$), então existem pelo menos $n - 1$ vetores de pesos $\mathbf{w}_k^* \in \Phi, k \neq i$, para os quais o valor global (3.1) de A_i é maior do que o valor global de cada alternativa A_k ($k = 1, 2, \dots, n, k \neq i$), respectivamente. Isto implica que não necessariamente existe um vetor de pesos $\mathbf{w}^* \in \Phi$ para o qual o valor de A_i é maior do que o valor de todas as outras alternativas $A_k \in S$ ($k = 1, 2, \dots, n, k \neq i$) ao mesmo tempo - condição de potencial otimalidade pela Definição 1. Portanto, A_i não necessariamente é potencialmente ótima em S , mesmo sendo não dominada.

A Figura 3 ilustra um exemplo do que é tratado na Proposição 2. O eixo vertical do gráfico mostra o valor global $v(A_i)$ das alternativas (3.1), e o eixo horizontal mostra, de forma simplificada, o espaço de pesos Φ , com os vetores de pesos admissíveis dentro do espaço. No gráfico, é observada a variação dos valores globais de quatro alternativas hipotéticas de acordo com a mudança de $\mathbf{w}$. Analisando a figura, é possível observar que as alternativas A_1 e A_3 são potencialmente ótimas, pois existem determinados vetores de pesos para os quais o valor global delas é maior do que o valor global de todas as outras alternativas. A alternativa A_1 , por exemplo, tem valor global maior do que todas as outras para todos os valores de $\mathbf{w}$ entre $\mathbf{w}_1$ e $\mathbf{w}_f$. Situação similar ocorre para A_3 , cujo valor global é o maior para os valores de $\mathbf{w}$ entre $\mathbf{w}_0$ e $\mathbf{w}_1$. A alternativa A_4 é claramente dominada pela alternativa A_3 , pois não existe nenhum vetor de pesos para o qual o valor global de A_4 é maior do que o valor global de A_3 . Já a alternativa A_2 não é dominada por nenhuma outra alternativa, pois existem vetores de pesos $\mathbf{w} \in \Phi$ para os quais o valor de A_2 é maior do que o valor de A_1 (por exemplo, $\mathbf{w} = \mathbf{w}_0$), vetores de pesos para os quais o valor de A_2 é maior do que o valor de A_3 (por exemplo, $\mathbf{w} = \mathbf{w}_f$), e vetores de pesos para os quais o valor de A_2 é maior do que o valor de A_4 (por exemplo, $\mathbf{w} = \mathbf{w}_1$ e $\mathbf{w} = \mathbf{w}_f$); logo, A_2 é uma alternativa não dominada. Mas ela não é potencialmente ótima, pois não existe nenhum vetor de pesos $\mathbf{w} \in \Phi$ para o qual seu valor global seja maior do que o valor de A_1 , A_3 e A_4 simultaneamente, ilustrando, portanto, um caso do que é dito na Proposição 2.

Figuras 3 - Alternativas potencialmente ótimas e não dominadas



Fonte: A Autora.

Proposição 3. Para todas as alternativas $A_i, A_k, A_z \in S$, se $A_i P A_k$ e $A_k P A_z$ (Definição 4), então $A_i P A_z$. Ou seja, a relação de preferência é transitiva.

Prova. Se $A_i P A_k$, então A_k é dominada por A_i (Definição 4), de forma que para todos os vetores de pesos $w \in \varphi$, o valor global (3.1) de A_i é maior ou igual do que o valor global de A_k (e estritamente maior para pelo menos um valor de $w \in \varphi$). O mesmo vale para A_k e A_z . Então, de acordo com a Definição 4, tem-se:

$$v(A_i) \geq v(A_k) \quad \forall w \in \varphi$$

$$v(A_k) \geq v(A_z) \quad \forall w \in \varphi$$

com inequação estrita para pelo menos um vetor $w \in \varphi$.

Logo, como consequência, $v(A_i) \geq v(A_z) \quad \forall w \in \varphi$, de forma que $A_i P A_z$ e a transitividade se verifica.

Proposição 4. Para todas as alternativas $A_i, A_k, A_z \in S$, se $A_i I A_k$ e $A_k I A_z$ (Definição 5), não se pode afirmar que $A_i I A_z$. Ou seja, a relação de indiferença não necessariamente será transitiva.

Prova. Se $A_i I A_k$, então, de acordo com a Definição 5, $|v(A_i) - v(A_k)| \leq \varepsilon$ para todos os vetores de pesos $w \in \varphi$. O mesmo se aplica a A_k e A_z . Portanto, tem-se:

$v(A_i) - v(A_k) \leq \varepsilon$, de forma que

$$v(A_i) \leq v(A_k) + \varepsilon \quad (\text{iii})$$

e $v(A_k) - v(A_z) \leq \varepsilon$, de forma que

$$-v(A_z) \leq \varepsilon - v(A_k) \quad (\text{iv})$$

Então, adicionando as inequações (iii) e (iv), tem-se:

$$v(A_i) - v(A_z) \leq 2\varepsilon.$$

Portanto, para o caso, por exemplo, do vetor de pesos $\mathbf{w} \in \varphi$ em que a igualdade $v(A_i) - v(A_z) = 2\varepsilon$ se verifica, A_i e A_z não serão indiferentes, pois $v(A_i) - v(A_z) > \varepsilon$.

Deve-se deixar claro, no entanto, que pode acontecer de haver transitividade na relação de indiferença, nos casos em que a máxima diferença entre os valores globais de A_i e A_z for, também, menor do que o limiar ε . Nos casos em que o valor de ε é igual a zero, a propriedade de transitividade sempre se verificará para a relação de indiferença.

Estas definições e proposições apresentadas servirão de base para os conceitos introduzidos nas próximas seções, onde serão apresentados o modelo do FITradeoff para a problemática de escolha, desenvolvido por de Almeida et al. (2016), e a extensão do método para a problemática de ordenação.

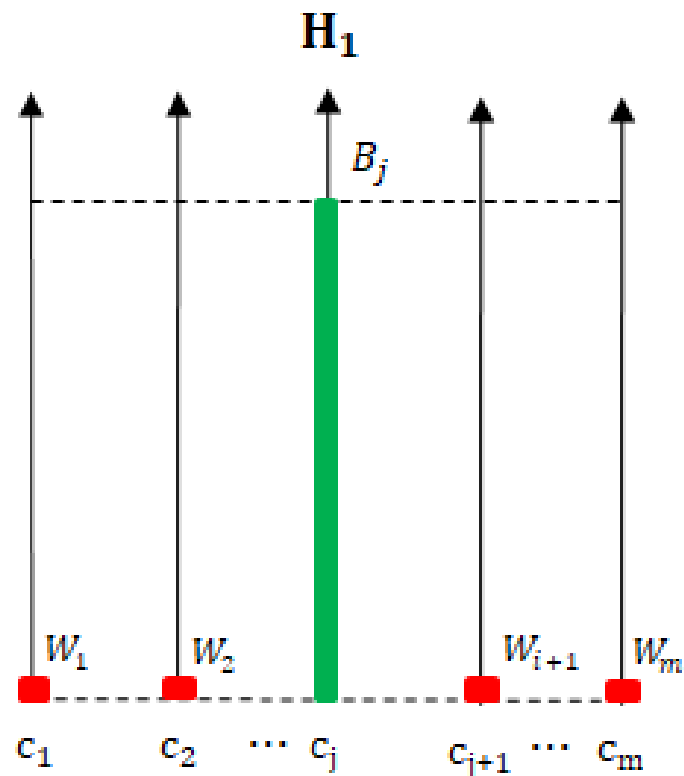
3.2 MÉTODO FITRADEOFF PARA PROBLEMÁTICA DE ESCOLHA

O método de elicitação por tradeoff interativo e flexível – FITradeoff – (de Almeida et al., 2016) foi desenvolvido para resolver apenas problemas multicritério de escolha no escopo de MAVT, através de um processo de elicitação estruturado baseado na fundamentação axiomática do procedimento de tradeoff tradicional (KEENEY & RAIFFA, 1976). O método é operado por um Sistema de Apoio a Decisão (SAD) interativo, através de um processo de perguntas e respostas, no qual o decisor deve declarar relações de preferência considerando tradeoffs entre valores de consequências dos múltiplos critérios envolvidos no problema.

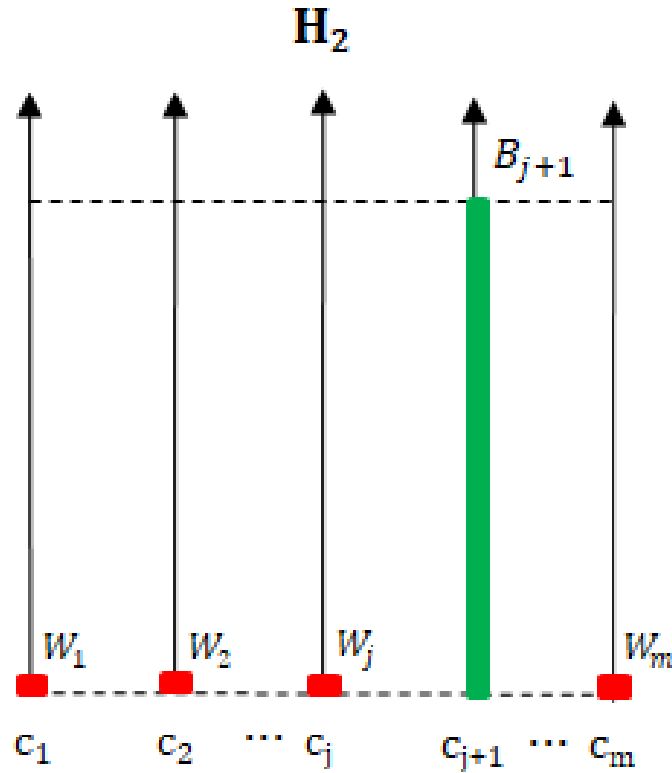
O processo tem início com a ordenação das constantes de escala pelo decisor. O SAD oferece ao decisor duas possibilidades de efetuar esta ordenação: por avaliação holística ou por comparação par a par. Na avaliação holística, o decisor é apresentado a uma alternativa fictícia com todos os critérios tendo pior desempenho possível, e então ele deve escolher qual critério ele selecionaria para aumentar a performance para o melhor valor possível de forma a melhorar a alternativa fictícia; este será o primeiro critério da ordenação. Em seguida, ele deve escolher o segundo critério que ele selecionaria para aumentar a performance para o

melhor valor possível, o qual será o segundo critério da ordem, e assim sucessivamente, até que todos os critérios tenham sido ordenados. Já na comparação par a par, o decisor é apresentado a duas alternativas hipotéticas, e deve escolher qual delas ele prefere, considerando tradeoffs entre diferentes valores dos critérios. As Figuras 4 e 5 mostram exemplos de alternativas hipotéticas apresentadas ao decisor na fase de ordenação de constantes de escala por comparação par a par, H_1 e H_2 .

Figura 4 – Alternativa hipotética H_1



Fonte: A Autora.

Figura 5 – Alternativa hipotética H_2 

Fonte: A Autora.

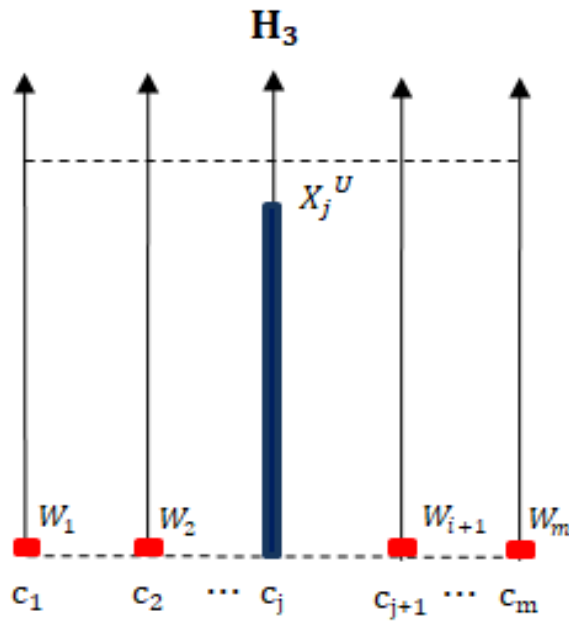
A alternativa hipotética H_1 apresenta o pior desempenho possível W (worst) para todos os critérios, com exceção do critério c_j , o qual apresenta o melhor valor possível, B (best). Já a alternativa hipotética H_2 apresenta o pior desempenho possível W para todos os critérios, com exceção do critério c_{j+1} , o qual apresenta o melhor valor possível, B . Na comparação par a par, o decisor é perguntado sobre qual destas alternativas ele prefere. Se o decisor declara, por exemplo, preferência pela alternativa H_1 , então o valor global (3.1) de H_1 será maior do que o valor global de H_2 . Como a função valor é normalizada de forma que o valor do pior desempenho é igual a 0 e o valor do melhor desempenho é igual a 1, tem-se que $w_j > w_{j+1}$. Logo, como resultado desta etapa, as inequações em (3.2) são obtidas.

$$w_1 > w_2 > \dots > w_j > w_{j+1} > \dots > w_m \quad (3.2)$$

Em seguida, começa o processo de perguntas e respostas da elicitación flexível. Em continuação ao exemplo dado nas Figuras 4 e 5, dado que o decisor respondeu que a

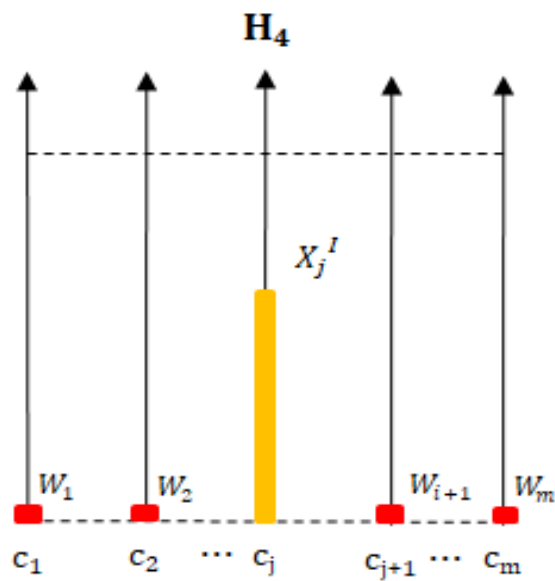
alternativa hipotética H_1 é preferível à alternativa hipotética H_2 , então se o valor da consequência do critério c_j for diminuído cada vez mais, chegará a um ponto no qual a alternativa hipotética H_2 passará a ser preferível. Isso é ilustrado pelas consequências H_3 , H_4 e H_5 nas Figuras 6, 7 e 8, respectivamente.

Figura 6 – Alternativa hipotética H_3

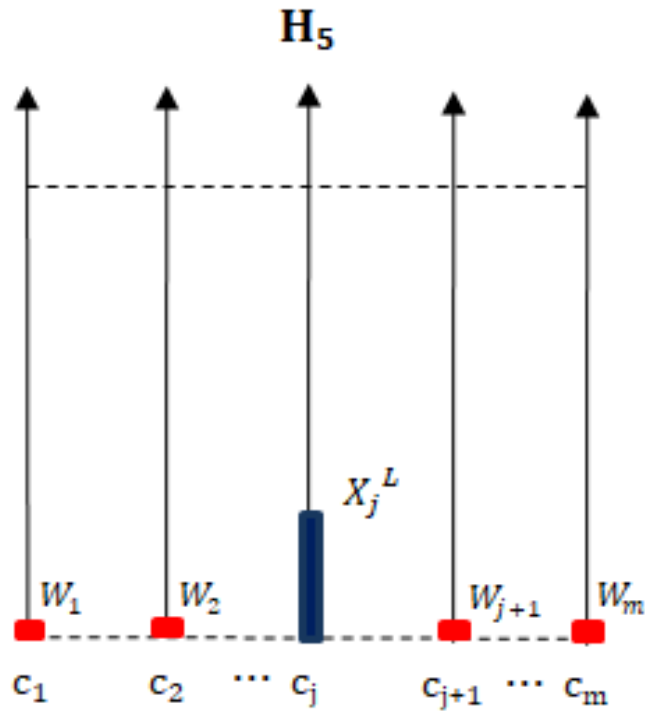


Fonte: A Autora.

Figura 7 – Alternativa hipotética H_4



Fonte: A Autora.

Figura 8 – Alternativa hipotética H_5 

Fonte: A Autora.

Por exemplo, considere que o valor da consequência do critério c_j é diminuído de B_j (H_1) para X_j^U (H_3). Neste caso, o decisor pode achar que a redução do valor do critério c_j foi pequena, e H_3 é preferível a H_2 , de forma que a inequação (3.3) é obtida. Se o valor da consequência do critério c_j é diminuída para X_j^L (H_5), o decisor pode considerar que a redução foi muito alta, de forma que, agora, H_2 passa a ser preferível a H_5 , e então a inequação (3.4) é obtida. E, finalmente, entre os valores de X_j^U e X_j^L , existe um certo ponto X_j^I (H_4) para o qual o decisor é indiferente entre as duas alternativas, de forma que a equação (3.5) seria obtida.

$$w_j v_j(X_j^U) > w_{j+1} \quad (3.3)$$

$$w_j v_j(X_j^L) < w_{j+1} \quad (3.4)$$

$$w_j v_j(X_j^I) = w_{j+1} \quad (3.5)$$

O procedimento de tradeoff tradicional exige que o decisor especifique o exato ponto X_j^I para o qual o decisor é indiferente entre duas alternativas, para formar equações do tipo (3.5) e então resolver um sistema de equações para encontrar os valores das constantes de escala. Mas esta informação de ponto de indiferença é cognitivamente difícil de ser fornecida,

e o decisor pode não saber fornecê-la de forma consistente. Devido a estas questões, o FITradeoff trabalha apenas com questões onde o decisor deve fornecer apenas informações sobre preferência estrita sobre as alternativas, de forma que inequações do tipo (3.3) e (3.4) são obtidas. Estas inequações não permitem calcular valores exatos para os pesos, mas elas indicam limites superior e inferior para os valores destes, de forma que um espaço de pesos de possíveis vetores admissíveis de pesos φ é obtido. Este espaço de pesos é utilizado como um conjunto admissível de restrições para o problema de programação linear (PPL) abaixo (3.6 – 3.12), que é rodado para cada alternativa A_i ($i = 1, 2, \dots, m$), a fim de verificar se a alternativa A_i é potencialmente ótima para o problema (Definição 1).

$$\text{Max } \sum_{j=1}^m w_j v_j(x_{ij}), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.6)$$

s. a.

$$w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_j \geq w_{j+1} \geq \dots \geq w_m \quad (3.7)$$

$$w_j v_j(X_j^U) \geq w_{j+1} - \delta, \quad j = 1 \text{ a } m - 1 \quad (3.8)$$

$$w_j v_j(X_j^L) \leq w_{j+1} + \delta, \quad j = 1 \text{ a } m - 1 \quad (3.9)$$

$$\sum_{j=1}^m w_j v_j(x_{ij}) \geq \sum_{j=1}^m w_j v_j(x_{zj}), \quad z = 1, 2, \dots, m, \quad z \neq i \quad (3.10)$$

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (3.11)$$

$$w_j \geq 0, j = 1 \dots m \quad (3.12)$$

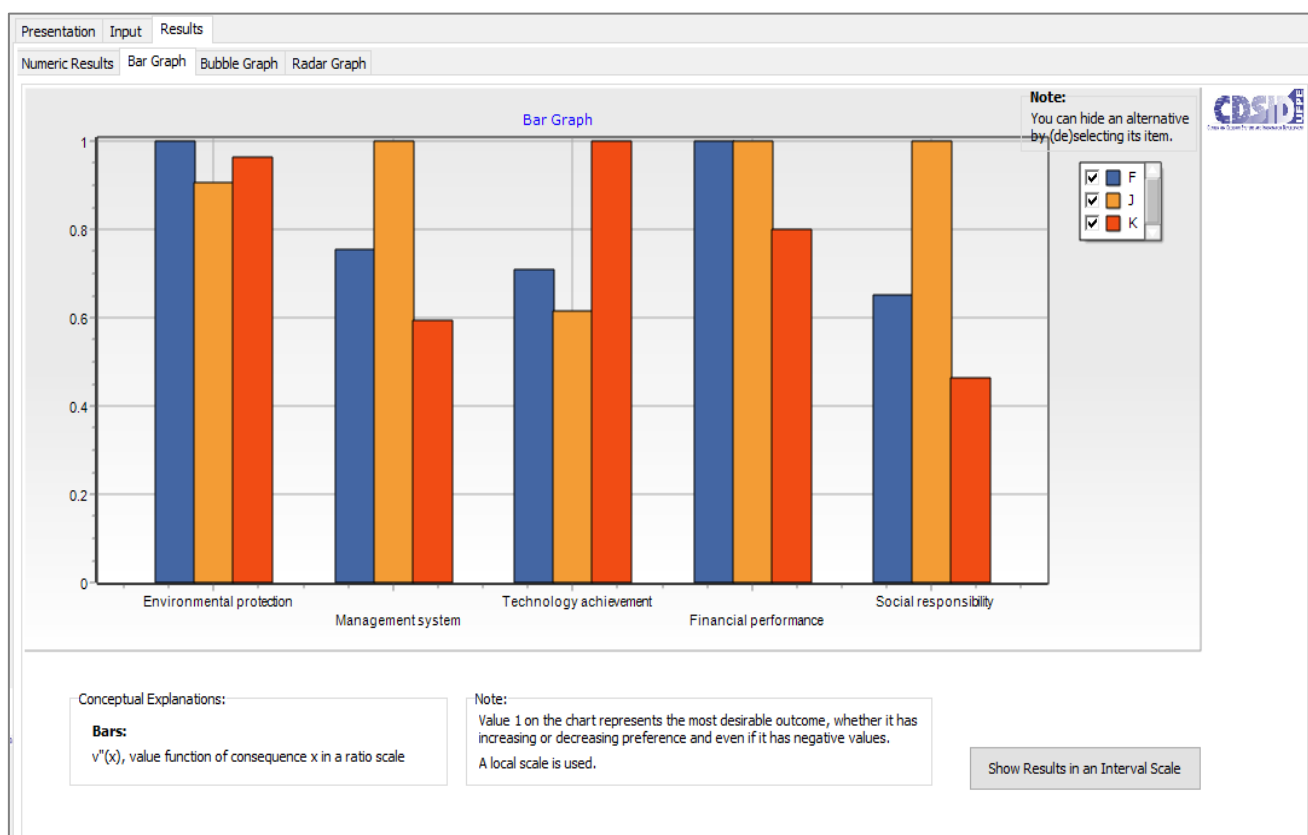
A função objetivo (3.6) visa maximizar o valor global (3.1) da alternativa A_i , e as variáveis de decisão são as constantes de escala w_j . A primeira restrição (3.7) diz respeito à ordenação de constantes de escala, estabelecida pelo decisor por avaliação holística ou por comparação par a par, como comentado anteriormente. As restrições (3.8) e (3.9) vem das declarações de preferência estrita estabelecidas pelo decisor, quando ele compara alternativas hipotéticas. O valor de δ pode ser considerado um valor muito pequeno, que entra na inequação apenas para efeitos computacionais da programação linear, para que a (3.8) e (3.9) sejam inequações equivalentes a (3.3) e (3.4), respectivamente. As inequações em (3.10) garantem a potencial otimalidade (Definição 1) de A_i , ou seja, esta restrição só é satisfeita se houver ao menos um vetor de pesos $\mathbf{w}$ para o qual o valor global de A_i é maior ou igual ao valor global de todas as outras alternativas A_z , $z = 1, \dots, m, z \neq i$. A restrição (3.11) garante que os pesos são normalizados, e em (3.12) é assegurada a não-negatividade destes valores. Pode-se dizer que a alternativa A_i é potencialmente ótima se e somente se o modelo de programação linear (3.6 – 3.12) tiver solução viável, ou seja, se dentro do espaço de pesos

delimitado pelas restrições (3.7 – 3.9 e 3.11 – 3.12) houver ao menos um vetor de pesos que satisfaz as restrições em (3.10). Caso o PPL (3.6 – 3.12) para A_i não admita solução viável, A_i é eliminada do processo. Caso contrário, A_i continua no processo como uma candidata a alternativa ótima do problema.

Após a rodada do PPL, o decisor responderá uma nova pergunta colocada pelo sistema, de forma de o espaço de pesos será atualizado com novas inequações do tipo (3.3) e (3.4), e assim o PPL roda novamente, e assim segue o processo iterativo. Este processo termina quando um única alternativa é encontrada como potencialmente ótima – esta será a alternativa ótima do problema -, ou então quando o decisor não estiver mais disposto a responder perguntas e/ou achar que os resultados parciais fornecidos pelo sistema com o subconjunto de alternativas potencialmente ótimas (POA) já é suficiente para ele.

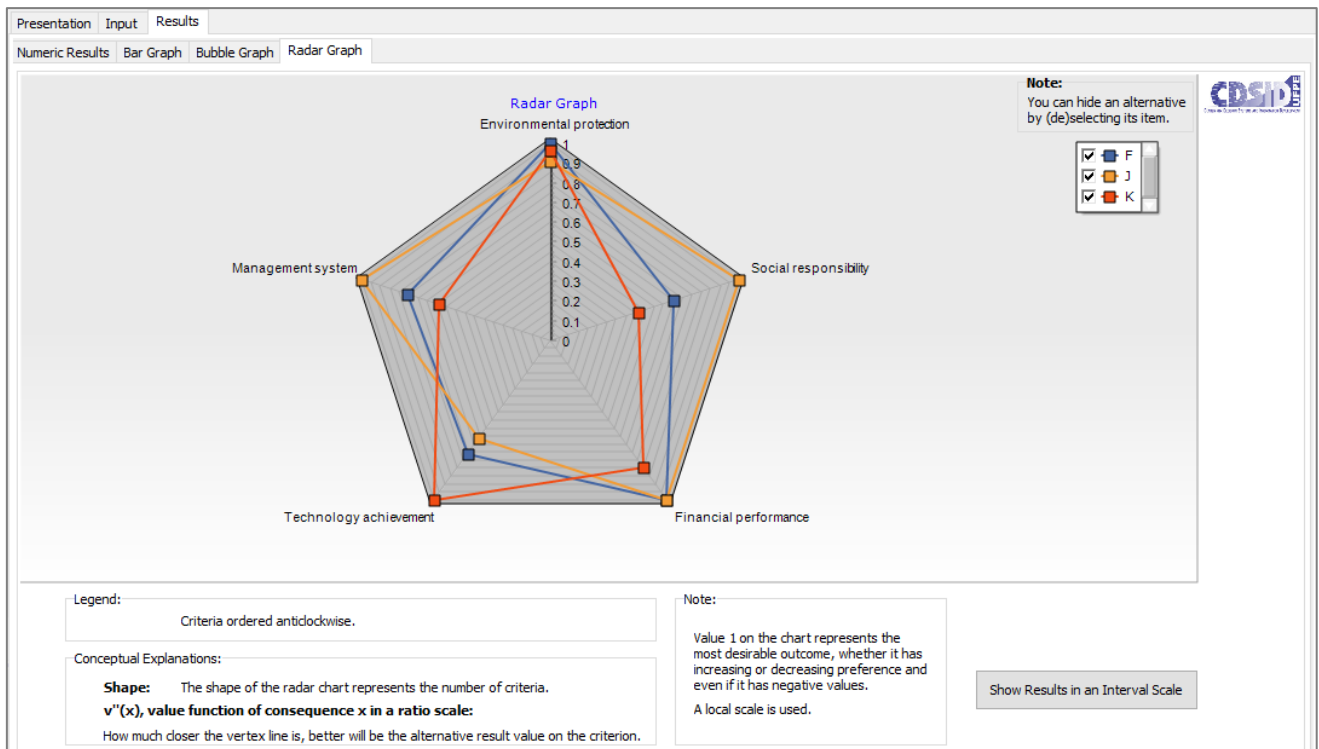
O SAD do FITradeoff para escolha oferece ferramentas de visualização gráfica do subconjunto de POA para o decisor, de forma que, caso assim deseje, ele(a) pode conduzir uma avaliação holística no meio do processo. Três tipos de gráficos são mostrados ao decisor: gráfico de barras (Figura 9), gráfico radar (Figura 10) e gráfico de bolhas (Figura 11).

Figura 9 – Gráfico de barras



Fonte: SAD FITradeoff escolha.

Figura 10 – Gráfico de radar



Fonte: SAD FITradeoff escolha.

Figura 11 – Gráfico de bolhas



Fonte: SAD FITradeoff escolha

Os três gráficos apresentam a mesma informação, mas de forma diferente para o decisor. Cada cor representa uma alternativa do conjunto de POA. Neste caso mostrado nas figuras acima, o conjunto de POA é formado por 3 alternativas. Os critérios são ordenados da esquerda para a direita nos gráficos de barras e bolhas, e em sentido anti-horário no gráfico de radar. A altura das barras (Figura 9), altura das bolhas (Figura 11) e pontas do gráfico radar (Figura 10) representam os valores das alternativas com relação a cada critério em uma escala de razão normalizada de 0 a 1. Os gráficos estão disponíveis para visualização a qualquer momento durante o processo de elicitação, de forma que o decisor pode conduzir uma avaliação holística das alternativas a qualquer momento, se assim desejar. Estudos na área de neurociência vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de melhorar estas ferramentas de visualização gráfica em sistemas de apoio a decisão multicritério, com base em experimentos que estudam o comportamento do ser humano durante o processo de tomada de decisão (ROSELLI, FREJ & DE ALMEIDA, 2018; ROSELLI, DE ALMEIDA & FREJ, 2019).

3.3 UMA NOVA ABORDAGEM PARA A PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO

Como já foi comentado anteriormente, uma limitação do método FITradeoff é que ele foi desenvolvido para lidar apenas com problemas de escolha. Portanto, a fim de resolver esta limitação, uma nova abordagem baseada nos conceitos de elicitação flexível com informação parcial é introduzida nesta seção. A Seção 3.3.1 mostra o método desenvolvido, apresentando o novo modelo matemático e o algoritmo utilizado para ranquear as alternativas; a Seção 3.3.2 ilustra o sistema de apoio a decisão desenvolvido para operacionalizar o novo método; e, por fim, a Seção 3.3.3 mostra uma aplicação ilustrativa do método de ordenação na prática.

3.3.1 O método

Ao contrário do que acontece em modelos aditivos com informação completa - como o procedimento de tradeoff tradicional -, no FITradeoff é obtido um espaço de pesos final φ_F ao fim do processo, e não valores exatos para os pesos. Portanto, existe um conjunto de vetores de pesos para os quais a alternativa escolhida pelo FITradeoff é a melhor alternativa. Entretanto, pode acontecer de diferentes vetores de pesos dentro do espaço φ_F resultarem em diferentes rankings das alternativas, mesmo que o primeiro lugar se mantenha o mesmo (a alternativa ótima). Desta forma, o conceito potencial otimalidade, no qual é baseado o FITradeoff para escolha, mostra-se insuficiente para lidar com a problemática de ordenação.

Uma alternativa para esta questão é utilizar o conceito de dominância par a par (Definição 2) entre as alternativas, a fim de verificar relações de preferência (Definição 4),

indiferença (Definição 5) e incomparabilidade (Definição 6) entre elas e, assim, construir um ranking parcial – ou completo – das alternativas, de acordo com as informações sobre preferências fornecida pelo decisor até o momento.

A fim de verificar relações de dominância entre as alternativas, um outro modelo de programação linear deve ser computado em substituição ao modelo em (3.6 – 3.12). A cada interação, portanto, o modelo de programação linear descrito a seguir (3.13 – 3.18) é rodado para cada par de alternativas A_i, A_k ($i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, m; i \neq k$). As diferenças deste PPL para o PPL de escolha são, basicamente, a mudança da função objetivo e a exclusão da restrição de potencial otimalidade em (3.10).

$$\text{Max } D(A_i, A_k) = \sum_{j=1}^m w_j v_j(A_i) - \sum_{j=1}^m w_j v_j(A_k), \quad \forall i, k; i \neq k \quad (3.13)$$

s. t.

$$w_1 \geq w_2 \geq \dots \geq w_j \geq w_{j+1} \geq \dots \geq w_m \quad (3.14)$$

$$w_j v_j(X_j^U) \geq w_{j+1} - \varepsilon, \quad \text{for } j = 1 \text{ to } m - 1 \quad (3.15)$$

$$w_j v_j(X_j^L) \leq w_{j+1} + \varepsilon, \quad \text{for } j = 1 \text{ to } m - 1 \quad (3.16)$$

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (3.17)$$

$$w_j \geq 0, j = 1 \dots m \quad (3.18)$$

Com base no Teorema 1 enunciado abaixo, é possível estabelecer relações de preferência estrita, indiferença ou incomparabilidade para todos os pares de alternativas a partir da solução ótima do problema de programação linear em (3.13 – 3.18).

Teorema 1. Considere D_{ik}^* como sendo a solução ótima do PPL (3.13 – 3.18) para o par de alternativas A_i, A_k , no espaço de pesos φ :

- a) Se $D_{ik}^* < 0$, então A_k é preferível a $A_i \forall \mathbf{w} \in \varphi$;
- b) Se $0 < D_{ik}^* \leq \varepsilon$ e $0 < D_{ki}^* \leq \varepsilon$, então A_i e A_k são indiferentes $\forall \mathbf{w} \in \varphi$;
- c) Se $D_{ik}^* > \varepsilon$ e $D_{ki}^* > \varepsilon$, então A_i e A_k são incomparáveis $\forall \mathbf{w} \in \varphi$.

Prova.

- a) $D_{ik}^* < 0$ implica em $v(A_i) - v(A_k) < 0 \forall \mathbf{w} \in \varphi$, de forma que não existe nenhum vetor de pesos para o qual o valor global de A_i é maior do que o valor global de A_k . Então, de acordo com a Definição 2, A_k domina A_i , e, portanto, pela Definição 4, A_k é preferível a A_i .

- b) As condições de $0 < D_{ik}^* \leq \varepsilon$ e $0 < D_{ki}^* \leq \varepsilon$ implicam em $v(A_i) - v(A_k) \leq \varepsilon$ e $v(A_k) - v(A_i) \leq \varepsilon \forall w \in \varphi$. Portanto, pela Definição 5, A_i e A_k são indiferentes.
- c) Se $D_{ik}^* > \varepsilon$, então, para ao menos um vetor de pesos dentro do espaço, o valor global de A_i é maior do que o valor global de A_k , de forma que A_k não domina A_i . Se $D_{ki}^* > \varepsilon$, então, para ao menos um vetor de pesos dentro do espaço, o valor global de A_k é maior do que o valor global de A_i , de forma que A_i não domina A_k . Desta forma, não se pode afirmar que A_i é preferível a A_k e nem que A_k é preferível a A_i . Se as duas condições $D_{ik}^* > \varepsilon$ e $D_{ki}^* > \varepsilon$ são válidas, então A_i e A_k também não são indiferentes entre si. Já que nem a relação de preferência nem a relação de indiferença podem ser definidas para A_i e A_k , então elas são incomparáveis entre si para o corrente nível de informação parcial obtido.

A transitividade da relação de preferência (Proposição 3) permite uma redução no esforço computacional para rodar o PPL (3.13 – 3.18) para os pares de alternativas. Uma matriz de dominância par a par é obtida a partir do resultado do PPL a cada ciclo iterativo. A partir desta matriz de dominância par a par, é possível, a cada interação, construir um ranking parcial ou completo das alternativas, a depender do nível de informação fornecido pelo decisor. A cada ciclo iterativo, o sistema de apoio a decisão do FITradeoff-ranking mostra um diagrama de visualização das relações de dominância entre as alternativas, o qual se assemelha a um diagrama de Hasse. O ranking das alternativas é construído com base neste diagrama, através de um algoritmo de duas etapas:

Etapas A – Construção do diagrama de Hasse das alternativas.

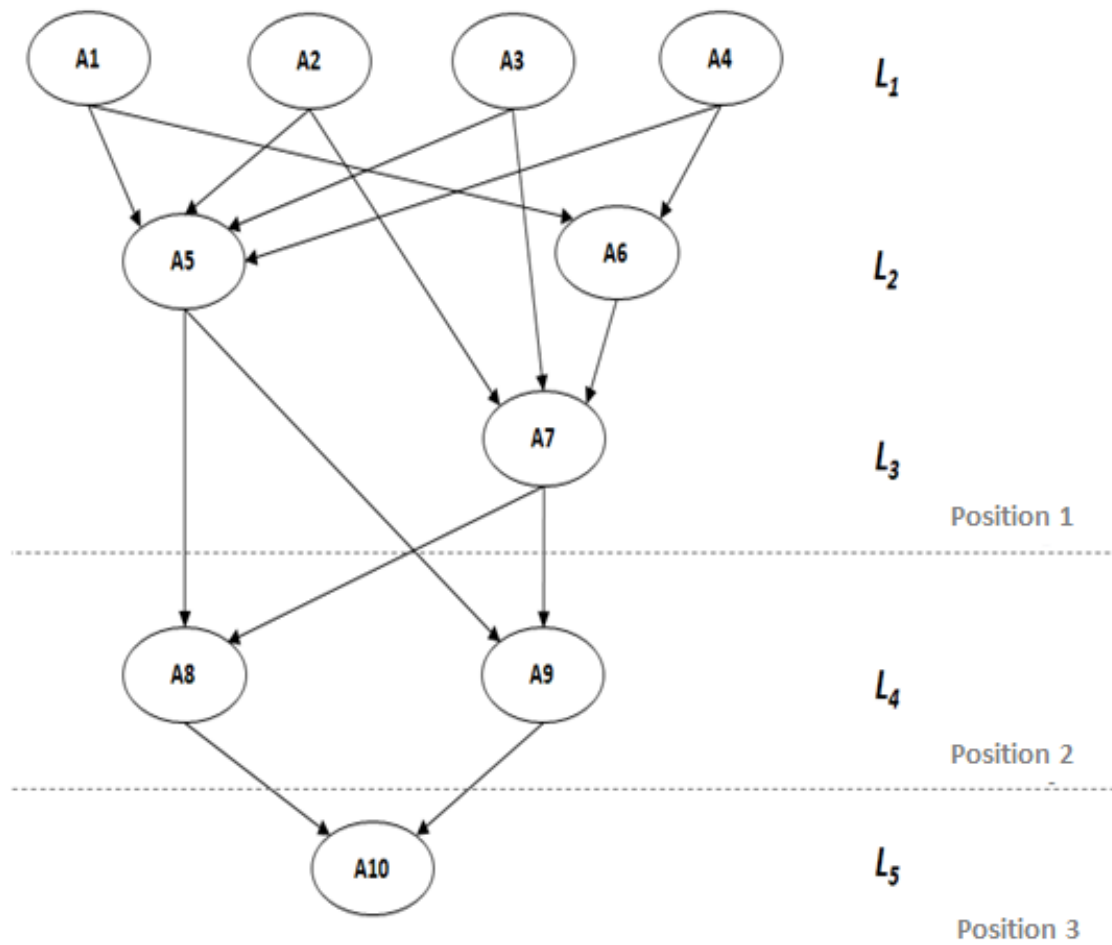
1. Inicialize $i = 1$ e $S' = S$, onde S é o conjunto inicial de alternativas do problema.
2. $L_i \leftarrow$ alternativas em S que não são dominadas por nenhuma outra alternativa de S' . L_i representa o subconjunto de alternativas que pertence ao nível i do diagrama de Hasse.
3. $S' \leftarrow S' - \bigcup_{k=1}^i L_k$
4. $S' = \emptyset$?
 - 4.1. Não: $i \leftarrow i + 1$ e volte ao passo 2.
 - 4.2. Sim: Prossiga para a Etapa B.

Etapas B – Construção de um ranking de alternativas baseado no diagrama construído em na Etapa A.

1. Diagrama de Hasse construído na Etapa A é mostrado.
2. $i \leftarrow H$, onde H é o número de níveis do diagrama de Hasse construído em 1.
3. Se todas as alternativas do nível L_i são dominadas por todas as alternativas dos níveis superiores $L_k (k = 1, \dots, i - 1)$, então uma linha tracejada é desenhada acima do nível i .
4. $i \leftarrow i - 1$.
5. $i = 1$?
 - 5.1. Não: Volte ao passo 3.
 - 5.2. Sim: Pare. Conjuntos de alternativas separadas por sucessivas linhas tracejadas são sucessivamente mais preferíveis de baixo para cima ao longo do diagrama de Hasse.

O diagrama de Hasse é uma ferramenta muito útil em problemas de tomada de decisão na problemática de ordenação, pois possibilita que o decisor visualize graficamente as relações de dominância entre as alternativas a qualquer momento durante o processo de elicitación. Uma das contribuições positivas desta ferramenta de visualização é a propriedade de redução transitiva, a qual torna a visualização mais fácil, através de um grafo mais limpo, evitando esforço cognitivo desnecessário do decisor. A Figura 12 ilustra um exemplo de diagrama de Hasse para um problema com 10 alternativas, no qual as setas direcionadas representam a existência de relações de dominância.

Figura 12 – Exemplo de diagrama de Hasse



Fonte: A Autora.

Neste exemplo, o diagrama de Hasse tem 5 níveis, porém o ranking parcial das alternativas só tem, por enquanto, 3 posições (posição 1, posição 2, posição 3). Não se pode afirmar, por exemplo, que as alternativas do nível L_1 estão acima das alternativas do nível L_2 no ranking. Isso se dá devido ao fato da alternativa A_6 ser incomparável às alternativas A_2 e A_3 para o corrente nível de informação parcial obtido até o momento. Desta forma, alternativa A_2 pode vir a dominar A_6 em algum momento futuro no processo (o mesmo vale para A_3 e A_6), e então, portanto, não se pode afirmar que as alternativas em L_1 são ocupam uma posição maior do que as de L_2 no ranking. Diferentemente deste caso, pode-se afirmar, por exemplo, que as alternativas do nível L_4 estão acima das alternativas do nível L_5 no ranking. Isso pode ser assegurado porque a alternativa A_{10} – única alternativa do nível L_5 – é dominada por todas as alternativas do nível L_4 (A_8 e A_9). Da mesma forma, pode-se garantir que as alternativas dos níveis L_1 , L_2 e L_3 estão em uma posição superior às do nível L_4 no ranking, pois A_8 e A_9

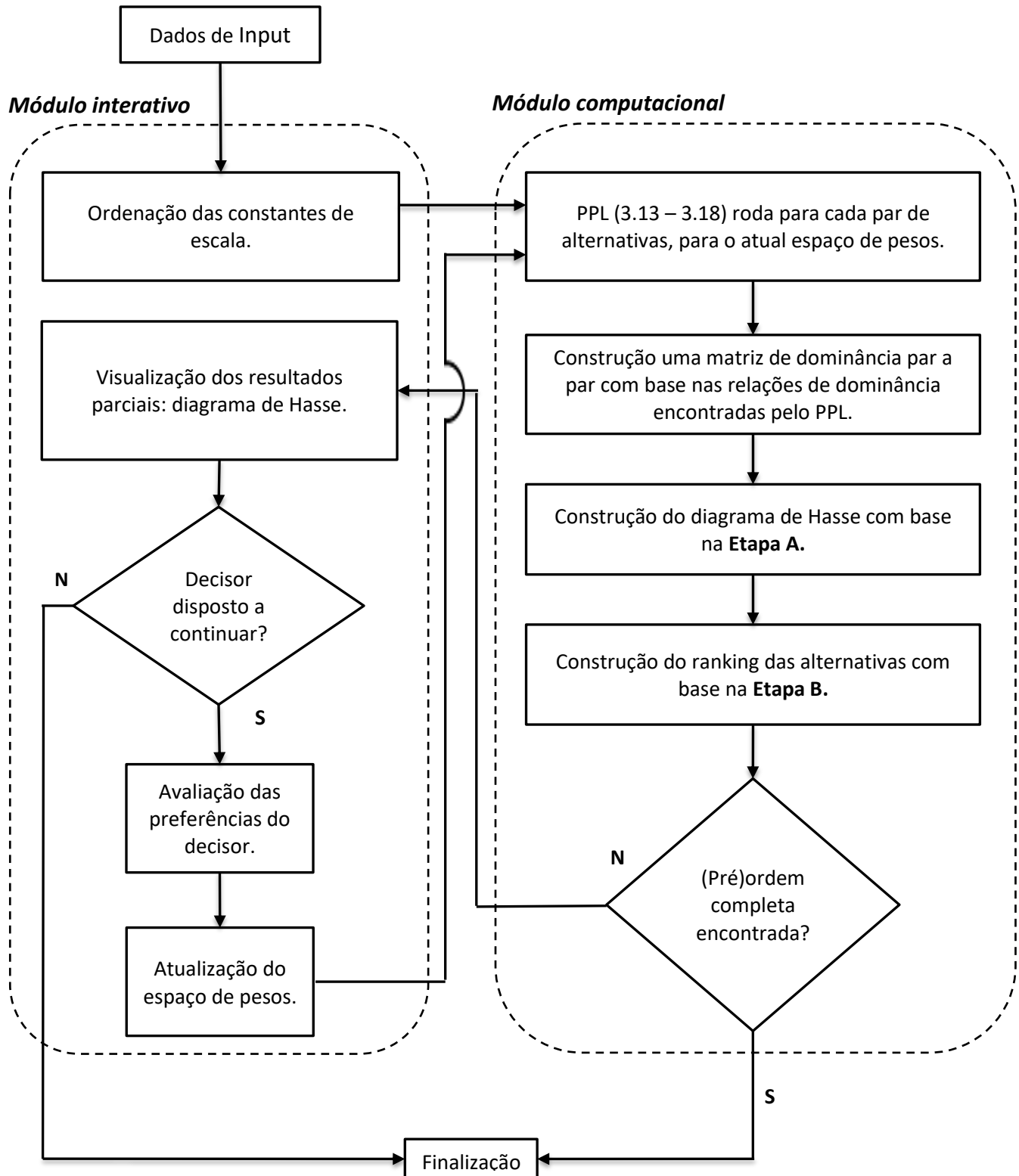
são dominadas por todas as alternativas dos níveis L_1 , L_2 e L_3 - vale ressaltar que, devido à propriedade de redução transitiva desta ferramenta, várias setas de dominância estão implícitas no grafo -. Desta forma, é possível formar um ranking com três posições: Posição 1 (alternativas dos níveis L_1 , L_2 e L_3) na primeira posição, Posição 2 (alternativas do nível L_4) na segunda posição e Posição 3 (alternativas do nível L_5 na terceira posição).

À medida que o decisor dá informações adicionais, o espaço de pesos é atualizado, e então o PPL (3.13 – 3.18) roda novamente, encontrando novas relações de dominância, de forma que o ranking vai sendo refinado. O processo termina quando uma ordem (ou pré-ordem) completa é encontrada, ou então pode também terminar antes, se o decisor achar que a ordem parcial encontrada já é suficiente para seus propósitos, ou que ele não está mais disposto a fornecer informações adicionais. A possibilidade de interromper o processo de eliciação antes do final é uma das características de flexibilidade do método FITradeoff.

3.3.2 O sistema de apoio a decisão

A fim de operacionalizar o método descrito acima, foi construído um sistema de apoio a decisão para resolver problemas de ordenação com o FITradeoff (código FU-T1ONO-CT1, em processo de registro no INPI). A Figura 13 ilustra o funcionamento do DSS, dividido em dois módulos: módulo interativo, no qual ocorrem os momentos de interação com o decisor, e módulo computacional de cálculos dentro do software.

Figura 13 – Sistema de apoio a decisão do FITradeoff ordenação



Fonte: A Autora.

A Figura 14 ilustra a tela inicial do DSS. Neste momento, o decisor irá importar a planilha com dados de input, contendo a matriz de consequências do problema de decisão multicritério, conforme mostrado no Quadro 1. O decisor pode clicar no botão “New”, para gerar uma nova planilha modelo e preencher com dados da matriz de consequências, ou “Open”, para importar uma planilha já pronta que esteja salva em seu computador. Ambos os botões encontram-se no canto superior esquerdo da tela inicial. O SAD oferece um arquivo de ajuda para os usuários, com instruções de como preencher a planilha de input.

Figura 14 – Tela inicial



Fonte: SAD FITradeoff ordenação

A Figura 15 ilustra a tela do SAD após a importação da planilha com os dados de input. As informações mostradas na tela da Figura 15 são as mesmas informações que o decisor colocou na planilha de input. O primeiro quadro do lado esquerdo mostra informações sobre os critérios do problema: se eles são contínuos ou discretos, de minimização ou de maximização. Logo abaixo, encontra-se o quadro referente à matriz de consequências do problema, que mostra a performance das alternativas com relação a cada critério.

Figura 15 – Tela de dados de input

FITradeoff – Flexible and interactive Tradeoff elicitation procedure for ranking with additive model, code FU-T10N0-CT1

File Help

New Open Reset Exit

Presentation Input

Input Values:

Criteria	Quality Organization	Service	Capability	Financial Condition	Geographical Condition
0-ContMin;1-ContMax;2-DiscMin;3-DiscMax	1	1	1	1	1
Weights					
type	1	1	1	1	1
a					
,					

ALTERNATIVES

CONSEQUENCES MATRIX

	Quality Organization	Service	Capability	Financial Condition	Geographical Condition
Subc 1	59.6	64	55	80	100
Subc 2	60.3	10	70	100	100
Subc 3	51.3	44	55	80	100
Subc 4	57.6	53.5	45	60	100
Subc 5	59.6	22.5	80	100	100
Subc 6	49.6	41	70	80	100
Subc 7	58.3	45.5	51.5	60	100
Subc 8	56.6	71	51.5	60	100
Subc 9	59	71	83	60	100
Subc 10	61.3	57	43.5	80	100
Fic1	0	0	0	0	0

Initial Order:

Quality Organization
Service
Capability
Financial Condition
Geographical Condition
Reliability
Price

Step 1 (Ordering the Criteria Scaling Constants)

Step 2 (Flexible Elicitation)

Value of Equivalence Distance:

(Maximum difference between alternatives)

0.01

Warning: We advert that this version includes some new features that may cause some errors. We apologize for this inconvenience. In order to receive new version updates, please register at www.fitradeoff.org.

Fonte: SAD FITradeoff ordenação

Do lado direito, encontra-se a lista de critérios na ordem inicial da planilha, e logo abaixo tem os botões “Step 1 (Ordering Criteria Scaling Constants)” e “Step 2 (Flexible Elicitation)”. Caso o decisor deseje alterar a ordem inicial das constantes de escala da entrada da planilha, deve clicar em “Step 1 (Ordering Criteria Scaling Constants)”, e então conduzirá a ordenação das constantes de escala, a qual pode ser feita por avaliação holística ou por comparação par a par, da mesma forma que foi explicado na seção 3.2 para o FITradeoff de escolha. As Figuras 16 e 17 ilustram, respectivamente, as telas de ordenação de constantes de escala por avaliação holística e por comparação par a par. Caso a ordem da planilha já seja a sua ordem de preferência, deve clicar em “Step 2 (Flexible Elicitation)”.

Figura 16 – Tela de ordenação dos pesos por avaliação holística

FITradeoff – Flexible and interactive Tradeoff elicitation procedure for ranking with additive model, code FU-T10NO-CT1

File Help

New Open Reset Exit

Presentation Input Ordering the Criteria Weights

Holistic Evaluation

I. Consider a hypothetical alternative:

Consequence of Hypothetical Alternative

Criterion	Best Outcome (Bi)	Worst Outcome (Wi)
C1	61.3	0
C2	71	0
C3	83	0
C4	100	0
C5	100	0
C6	83.3	0
C7	40	0

Best

Worst

Note:

Wi is the worst outcome of criterion Ci

Bi is the best outcome of criterion Ci

Change to Pairwise Comparison

Step 2 (Flexible Elicitation)

II. 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? (If you feel indifferent between some criteria, please select them together)

Note: Select the criteria to see the changes.

- C1 - Quality Organization
- C2 - Service
- C3 - Capability
- C4 - Financial Condition
- C5 - Geographical Condition
- C6 - Reliability
- C7 - Price

Restart Choose

Chosen Order:

Warning: We advert that this version includes some new features that may cause some errors. We apologize for this inconvenience. In order to receive new version updates, please register at www.fitradeoff.org.

Fonte: SAD FITradeoff ordenação

Figura 17 – Tela de ordenação dos pesos por comparação par a par

FITradeoff – Flexible and interactive Tradeoff elicitation procedure for ranking with additive model, code FU-T10NO-CT1

File Help

New Open Reset Exit

Presentation Input Ordering the Criteria Weights

Pairwise Comparison

Answer the following questions by choosing consequences A or B

Consequences of Hypothetical Alternatives:

Criterion	Consequence A (Wi)	Consequence A (Bi)	Consequence B (Wi)	Consequence B (Bi)
C1	0	61.3	0	61.3
C2	0	71	0	71
C3	0	83	0	83
C4	0	100	0	100
C5	0	100	0	100
C6	0	83.3	0	83.3
C7	0	40	0	40

Worst

Best

Note:

Wi is the worst outcome of criterion Ci

Bi is the best outcome of criterion Ci

Which consequence do you prefer?

☐ Consequence A

☐ Consequence B

Legend:

- C1 - Quality Organization
- C2 - Service
- C3 - Capability
- C4 - Financial Condition
- C5 - Geographical Condition

Chosen Order:

Restart OK

Change to Holistic Evaluation

Step 2 (Flexible Elicitation)

Warning: We advert that this version includes some new features that may cause some errors. We apologize for this inconvenience. In order to receive new version updates, please register at www.fitradeoff.org.

Fonte: SAD FITradeoff ordenação

Com a informação de ordenação dos pesos, o PPL 3.13 – 3.18 irá rodar pela primeira vez em busca de relações de dominância par a par entre as alternativas, porém sem as restrições 3.15 e 3.16, pois estas informações ainda não foram fornecidas pelo decisor. A partir do resultado do PPL, é obtida uma matriz de dominância par a par, a partir da qual é construído o diagrama de Hasse com a ordem parcial das alternativas com base nas etapas A e B explicadas na seção 3.3.1. Caso uma ordem completa das alternativas seja encontrada neste ponto, o processo é finalizado. Caso contrário, o decisor vai visualizar o ranking parcial obtido através do diagrama de Hasse, para decidir se ele(a) está disposto a continuar o processo de elicitación ou não. O decisor pode decidir não continuar o processo de elicitación por diversos motivos, como por exemplo porque a ordem parcial das alternativas já atende aos seus propósitos, ou porque ele não está mais disposto a fornecer informações de preferência. Caso o decisor opte por não continuar a elicitación, o processo é interrompido, e ele fica com os resultados parciais obtidos até o momento. Caso contrário, o decisor irá fornecer informações de preferência, através da comparação de alternativas hipotéticas, como mostrado na Seção 3.2. A partir da informação de preferência obtida, inequações do tipo 3.15 ou 3.16 são obtidas e o espaço de pesos é atualizado com base nesta informação, de forma que o PPL 3.13 – 3.18 é rodado novamente, para o atual espaço de pesos. E, assim, o processo continua, até que uma (pré)ordem completa seja encontrada, ou até que o decisor decida encerrar o processo.

A Figura 18 ilustra o exemplo de uma pergunta de comparação de alternativas hipotéticas feita ao decisor, similar àquelas das Figuras 4 a 8. Ele pode escolher preferência pela alternativa hipotética A (ou consequência A); preferência pela alternativa hipotética B (ou consequência B); indiferença entre elas; “no answer”, se a pergunta for muito difícil para ele responder, e então uma nova pergunta será elaborada para ele; ou “inconsistecy”, caso ele ache que esta pergunta é inconsistente com julgamentos fornecidos anteriormente por ele. Nesta tela, também são mostrados a quantidade de perguntas respondidas pelo decisor até o momento e o número de níveis do ranking parcial encontrado.

Figura 18 – Tela de comparação de alternativas hipotéticas

Which consequence do you prefer?
Answer the questions by choosing one option

Criterion	Consequence A	Consequence B
C1	X1: 45.975	B1: 61.3
C2	W2: 0	B2: 71
C3	W3: 0	B3: 83
C4	W4: 0	B4: 100
C5	W5: 0	B5: 100
C6	W6: 0	B6: 83.3
C7	W7: 0	B7: 40

Note :
 W_i is the worst outcome of criterion C_i
 X_i is an outcome in between best and worst of criterion C_i
 B_i is the best outcome of criterion C_i

Options:
☐ Consequence A
☒ Consequence B
☐ Indifferent
☐ No Answer
☐ Inconsistency

OK

Number of Questions Answered: 1
Ranking levels: 4

Show Current Results

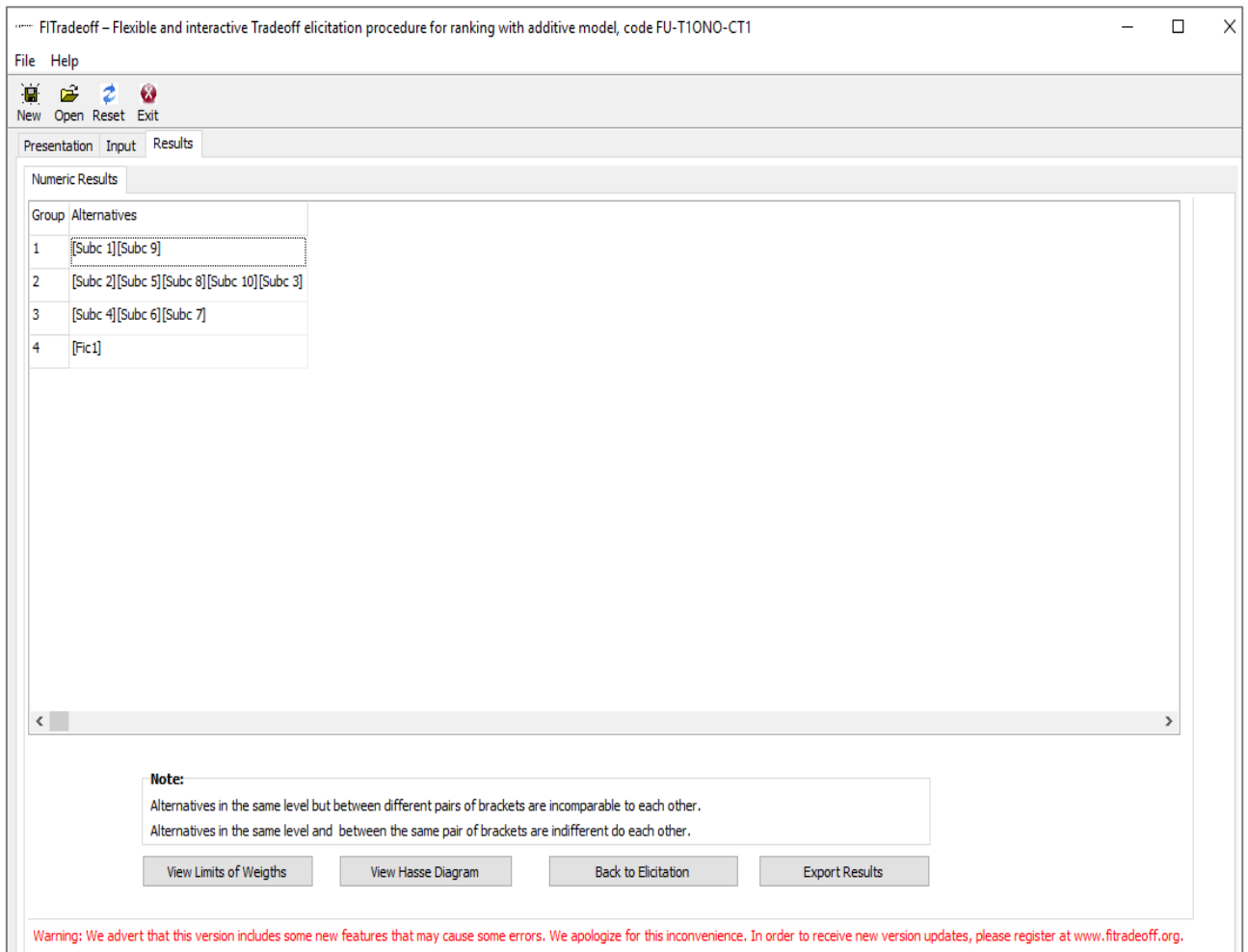
Chosen Order:
 C1 - Quality Organization
 C2 - Service
 C3 - Capability
 C4 - Financial Condition
 C5 - Geographical Condition
 C6 - Reliability
 C7 - Price

Warning: We advert that this version includes some new features that may cause some errors. We apologize for this inconvenience. In order to receive new version updates, please register at www.fitradeoff.org.

Fonte: SAD FITradeoff ordenação

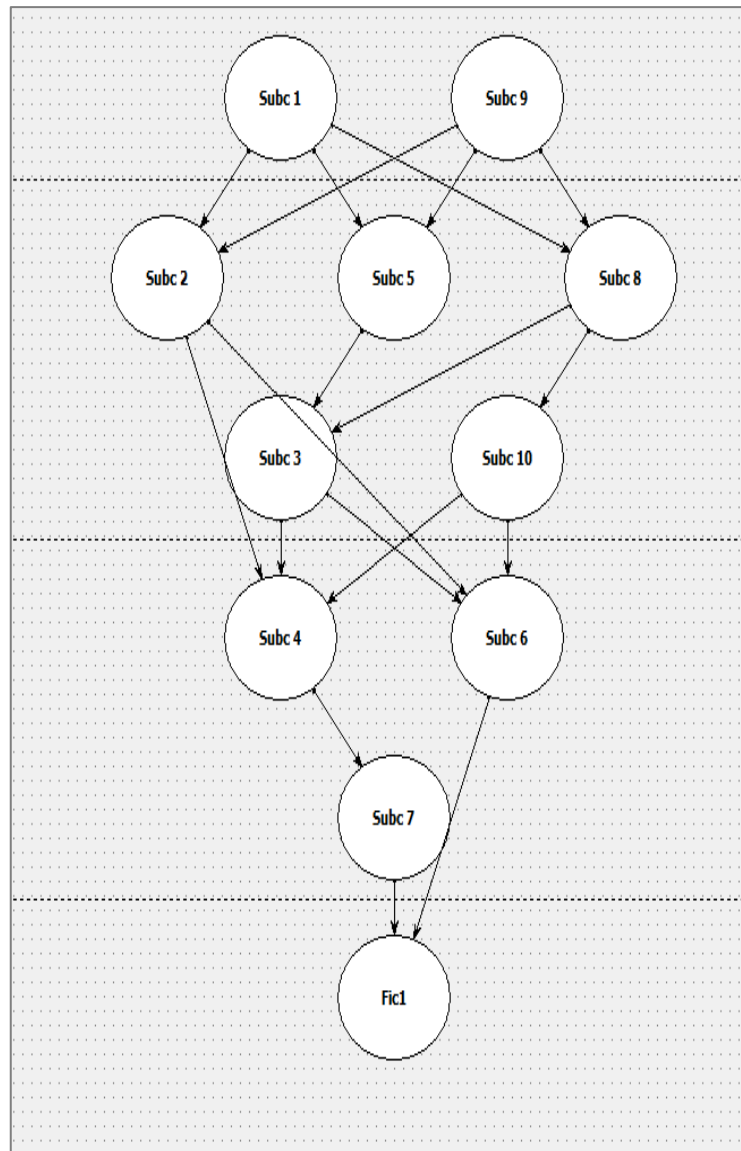
Se decisor clicar no botão “Show Current Results”, mostrado na Figura 18, aparecerá uma tela com os resultados parciais, mostrada na Figura 19. Nesta tela, é mostrado o ranking parcial obtido até o momento. O decisor pode visualizar o diagrama de Hasse com as relações de dominância entre as alternativas, clicando no botão “View Hasse Diagram”, mostrado na tela da Figura 19. A Figura 20 mostra a tela do SAD com o diagrama de Hasse das alternativas.

Figura 19 – Tela de resultados parciais



Fonte: SAD FITradeoff ordenação

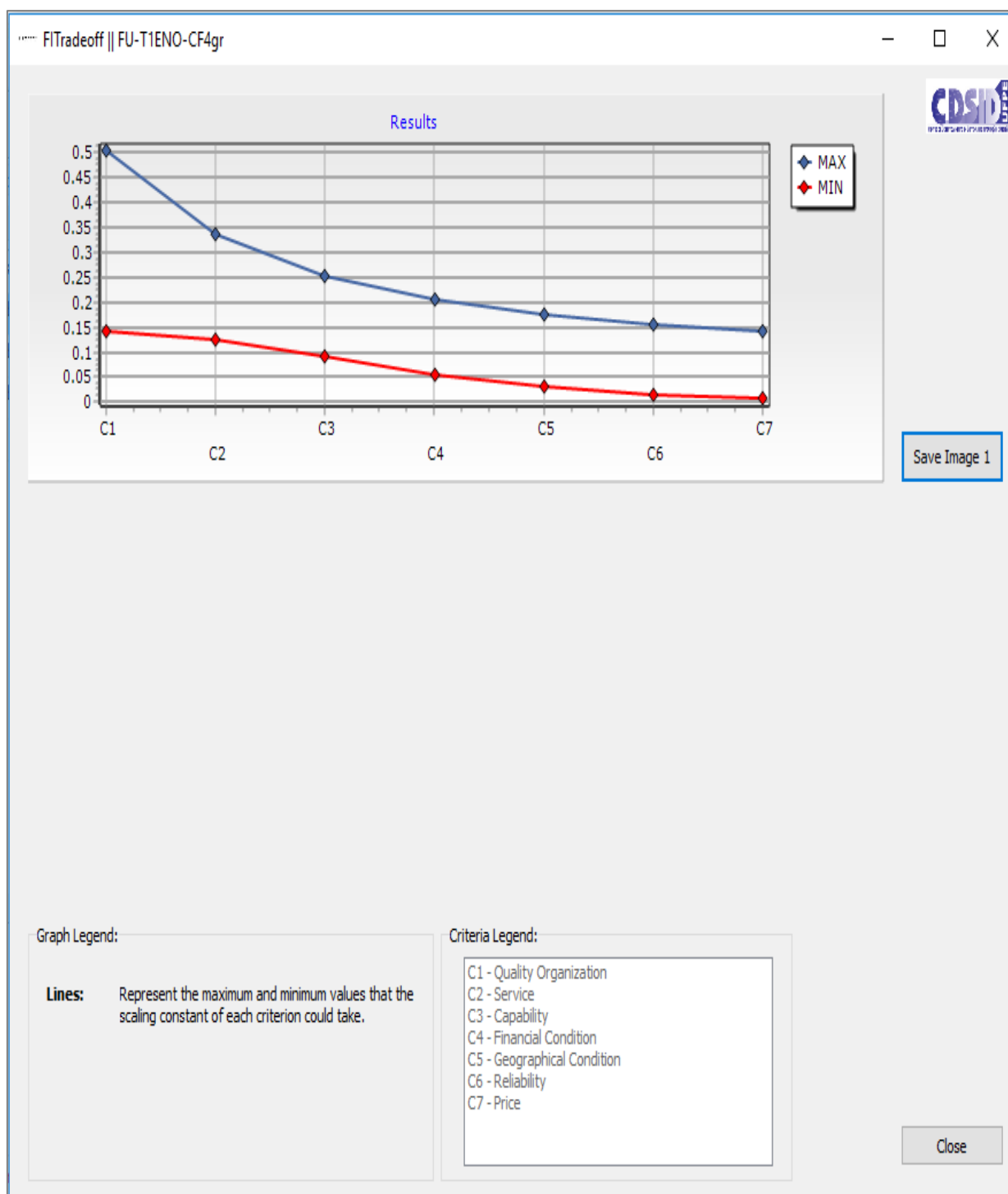
Figura 20 – Diagrama de Hasse



Fonte: SAD FITradeoff ordenação

O decisor também pode clicar no botão “View Limits of Weights”, mostrado na Figura 19, para ver o range dos valores das constantes de escala dos critérios no atual espaço de pesos. A Figura 21 mostra a tela do SAD com o gráfico dos limites dos pesos.

Figura 21 – Gráfico dos limites dos pesos



Fonte: SAD FITradeoff ordenação

A Figura 19 mostra, ainda, dois botões adicionais: “Back to Elicitation” e “Export Results”. O botão “Back to Elicitation” volta à tela da Figura 18, onde o decisor irá responder mais perguntas sobre suas preferências. Através do botão “Export Results”, o decisor pode

exportar os resultados para o excel. Quando uma (pré)ordem completa é encontrada, o decisor é avisado, e então é mostrada uma tela similar à da Figura 19, com o botão “Back to Elicitation” desativado.

3.3.3 Aplicação desenvolvida para localização de uma escola técnica

O método FITradeoff para a problemática de ordenação foi aplicado para resolver um problema real de localização de uma escola técnica na cidade de Teresina, região nordeste do Brasil. A escola é uma filial da maior franquia de escolas técnicas do país no setor privado, e o decisor foi o franqueado designado pela franquia para abrir a unidade na cidade. Sete critérios foram levados em consideração na avaliação, os quais são descritos no Quadro 3.

De início, quinze prédios (*Buildings*) haviam sido considerados como possíveis locais para receber a escola. Entretanto, cinco deles (*Buildings* 3, 6, 7, 10, 11) possuem área menor que 1000m², e, portanto, inviabilizam futuras expansões da escola (ver a descrição do critério Área no Quadro 3). Portanto, o conjunto final de alternativas ficou com um total de dez prédios. O Quadro 4 mostra a matriz de consequências do problema.

Quadro 3 – Descrição dos critérios

Critério	Descrição	Preferência
Preço do aluguel	Preço mensal do aluguel do prédio (R\$). Este valor é um custo fixo que será pago todo mês, e tem impacto direto na margem de lucro da filial.	Minimização
Custo da reforma	Custo da reforma do prédio para torná-lo pronto para receber as atividades da escolha (R\$). Quanto menor o custo da reforma, menor será o payback do investimento.	Minimização
Área	Área total da propriedade (m ²). A área mínima desejada é de 1000m ² ; caso contrário, futuras expansões não seriam possíveis.	Maximização
Proximidade de serviços	Relacionado ao número de serviços perto do prédio, como hospitais e restaurantes, os quais são convenientes para os estudantes. Este critério é mensurado em uma escala construída de 3 níveis: 1- não existem serviços perto; 2 – existem poucos serviços perto; 3 – existem muitos serviços perto.	Maximização
Visibilidade	Relacionado ao nível de visibilidade da localização do prédio. Isto é importante porque cerca de 30% das matrículas vêm de pedestres que passam pela escola. Este critério é mensurado em uma escala construída de 5 níveis: 1- muito baixa visibilidade; 2 – baixa visibilidade; 3 – média visibilidade; 4 – alta visibilidade; 5 – muito alta visibilidade.	Maximização
Período de carência	É o período de carência do pagamento do aluguel que o proprietário de alguns prédios oferece ao franqueado, mensurado em meses. Este critério é importante porque o período de carência impacta diferentemente no valor do investimento total da unidade.	Maximização
Acessibilidade	Relacionado à facilidade de acesso para estudantes e professores. Ruas largas, ciclovias, estacionamento e especialmente acesso por transporte público são desejáveis. Aproximadamente 90% dos estudantes vão à escola por meio de transporte público. Este critério é mensurado em uma escala construída de 5 níveis: 1- acessibilidade muito baixa; 2 – acessibilidade baixa; 3 – acessibilidade média; 4 – acessibilidade alta; 5 – acessibilidade muito alta.	Maximização

Fonte: A Autora

Quadro 4 – Matriz de consequências do problema

Alternativas	Preço do aluguel (R\$)	Custo da reforma (R\$)	Área (m²)	Proximidade de serviços	Visibilidade	Período de carência (meses)	Acessibilidade
Building 1	22000	450000	1080	3	5	6	5
Building 2	60000	350000	1770	3	5	0	5
Building 4	14000	300000	1600	1	2	0	3
Building 5	40000	1000000	2000	2	3	3	2
Building 8	40000	500000	1500	3	4	3	4
Building 9	20000	700000	1075	2	3	0	3
Building 12	15000	450000	2500	2	4	12	4
Building 13	25000	100000	1000	1	1	0	3
Building 14	30000	200000	1600	3	5	0	5
Building 15	30000	100000	1000	2	2	0	3

Fonte: A Autora

A primeira fase da aplicação foi a ordenação das constantes de escala dos critérios pelo decisor. O decisor escolheu efetuar a ordenação por meio de avaliação holística, já que o número de critérios não era tão grande a ponto de dificultar este processo. A ordem obtida foi:

$$w_{\text{Preço do aluguel}} \geq w_{\text{Custo da reforma}} \geq w_{\text{Visibilidade}} \geq w_{\text{Acessibilidade}} \geq$$

$$w_{\text{Período de carência}} \geq w_{\text{Área}} \geq w_{\text{Proximidade de serviços}} \cdot$$

Após esta etapa de ordenação, o PPL (3.13 – 3.18) foi rodado, em busca de relações de dominância par a par entre as alternativas. Este ciclo inicial, onde ocorre a ordenação das constantes de escala e primeira rodada do PPL, é chamado ciclo 0. O ciclo 1 é contado a partir da primeira pergunta respondida pelo decisor. O Quadro 5 mostra a matriz de dominância par a par obtida com as relações de dominância encontradas pelo PPL no ciclo 0. A célula (i, j) da

matriz é igual a 1 se a alternativa i domina a alternativa j, e igual a zero caso contrário. Caso duas alternativas sejam indiferentes, as células (i, j) e (j, i) são preenchidas com “I”.

Quadro 5 – Matriz de dominância par a par no ciclo 0

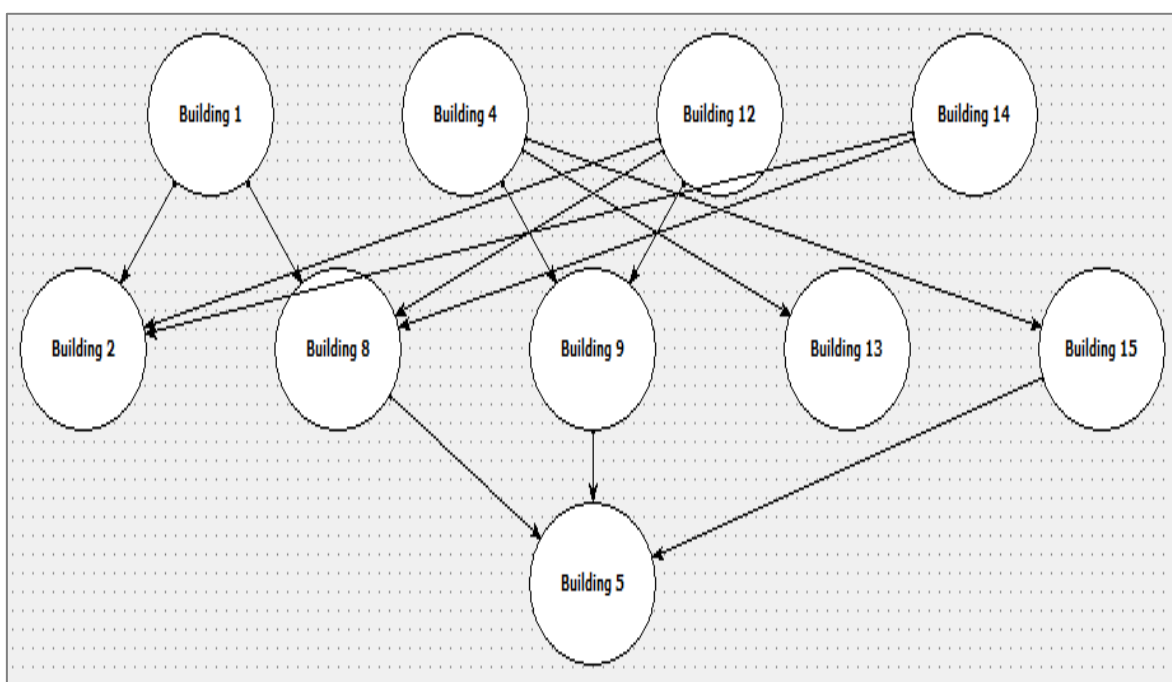
Cycle 0	Building 1	Building 2	Building 4	Building 5	Building 8	Building 9	Building 12	Building 13	Building 14	Building 15
Building 1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
Building 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Building 4	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
Building 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Building 8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 12	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0
Building 13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Building 14	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
Building 15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: A Autora

A partir da matriz de dominância do Quadro 5, é possível construir um diagrama de Hasse das alternativas seguindo as instruções das Etapas A e B descritas na Seção 3.3.1. A Figura 22 mostra o diagrama de Hasse obtido. É possível notar que, neste momento, não

houve ainda separação de posições do ranking. Isso ocorre porque, para nenhum dos três níveis formados no diagrama de Hasse, não ocorre de todas as alternativas de um nível serem dominadas por todas as alternativas dos níveis acima, conforme explicado na Seção 3.3.1. O Building 5, por exemplo, que é a única alternativa pertencente ao terceiro nível do diagrama, não é dominado nem pelo Building 13 nem pelo Building 2, de forma que ele pode vir a dominar algum destes posteriormente, dependendo das informações futuras fornecidas pelo decisor. Desta forma, não se pode separar, ainda, o Building 5 em uma posição inferior às outras alternativas, para que não ocorra uma inversão de ordem no meio do processo.

Figura 22 – Diagrama de Hasse das alternativas após o ciclo 0



Fonte: SAD FITradeoff Ordenação

Após o decisor visualizar o diagrama de Hasse mostrado na Figura 22, ele iniciou o processo de perguntas e respostas do FITradeoff. O Quadro 6 mostra todas as perguntas feitas ao decisor, as respostas dadas por ele, e o número de níveis do ranking após o PPL 3.13 – 3.18 ser rodado para o espaço de pesos atualizado com a nova informação fornecida pelo decisor. A primeira coluna do quadro, “Ciclo”, mostra o número do ciclo interativo, que pode ser também entendido como o número da pergunta feita ao decisor. A segunda e terceira colunas do quadro, “Alternativa hipotética A” e “Alternativa hipotética B: melhor de...”, mostram as alternativas hipotéticas comparadas pelo decisor, conforme ilustrado na Figura 18. A alternativa hipotética A – ou consequência A – tem um valor intermediário para o critério indicado na segunda coluna do quadro, e o pior valor para os demais critérios; e a alternativa

hipotética B – ou consequência B – tem o melhor valor para o critério indicado na terceira coluna do quadro, e o pior valor para os demais critérios. A quarta coluna do quadro mostra a resposta dada pelo decisor: preferência pela consequência A, preferência pela consequência B, ou indiferença entre as duas. A quinta e última coluna do quadro mostra, finalmente, o número de posições do ranking obtido após a rodada do PPL para o espaço de pesos atualizado com a nova informação fornecida.

Quadro 6 – Resumo da aplicação do FITradeoff para o problema de localização

Ciclo	Alternativa hipotética A	Alternativa hipotética B: Melhor de...	Preferência	Nº de posições no ranking
0	ordenando as constantes de escala			1
1	37000 de Preço do Aluguel (R\$)	Proximidade de serviços	A	1
2	37000 de Preço do Aluguel (R\$)	Custo da reforma (R\$)	B	1
3	550000 de Custo da reforma (R\$)	Visibilidade	B	1
4	3 de Visibilidade	Acessibilidade	A	2
5	3 de Acessibilidade	Período de carência (meses)	B	2
6	6 de Período de carência (meses)	Área (m²)	A	2
7	1750 de Área (m²)	Proximidade de serviços	A	2
8	25500 de Preço do Aluguel (R\$)	Custo da reforma (R\$)	A	3
9	325000 de Custo da reforma (R\$)	Visibilidade	A	4
10	2 de Visibilidade	Acessibilidade	B	4
11	4 de Acessibilidade	Período de carência (meses)	B	5

Fonte: A Autora

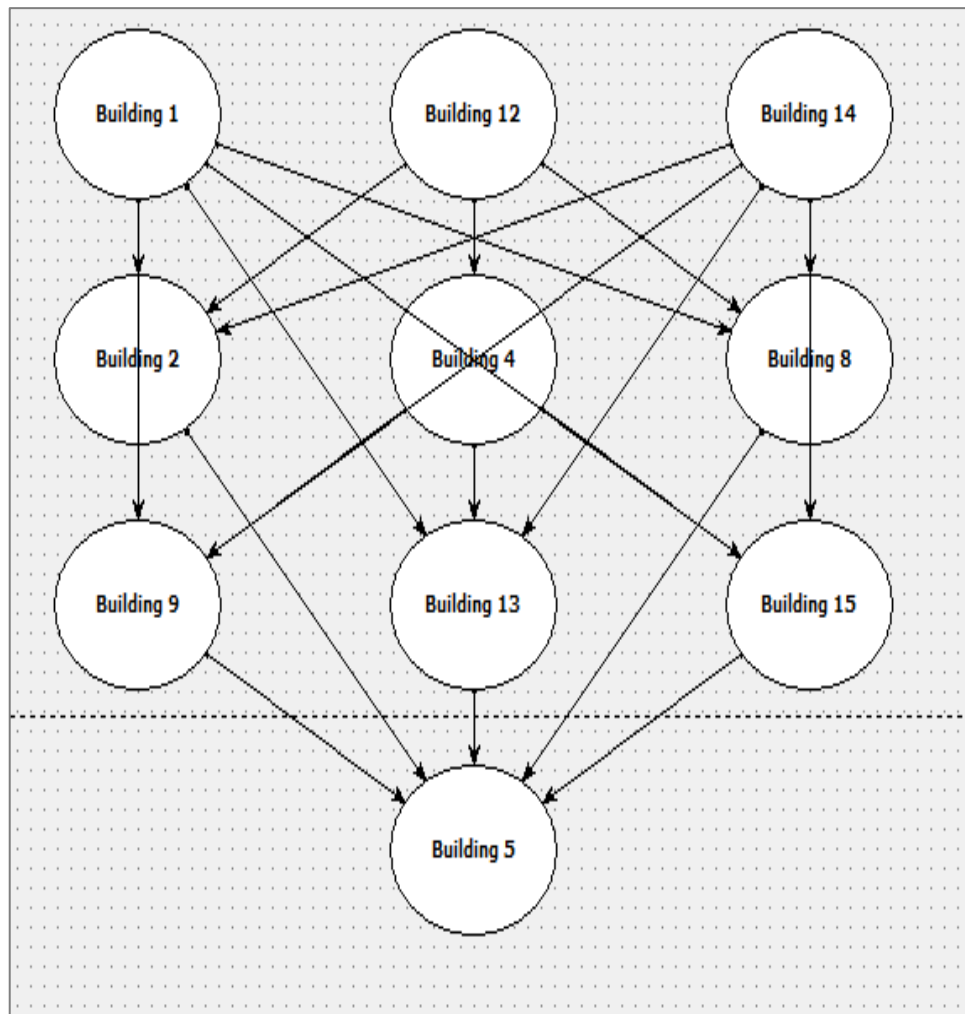
Como se pode observar no Quadro 6, apenas a partir do Ciclo 4 o ranking foi dividido em duas posições. O Quadro 7 mostra a matriz de dominância par a par obtida após o Ciclo 4, e a Figura 23 mostra o diagrama de Hasse obtido a partir da matriz.

Quadro 7 – Matriz de dominância par a par no ciclo 4

Cycle 4	Building 1	Building 2	Building 4	Building 5	Building 8	Building 9	Building 12	Building 13	Building 14	Building 15
Building 1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Building 2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 4	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
Building 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Building 8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 12	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1
Building 13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 14	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Building 15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: A Autora

Figura 23 – Diagrama de Hasse das alternativas após o ciclo 4



Fonte: SAD FITradeoff Ordenação

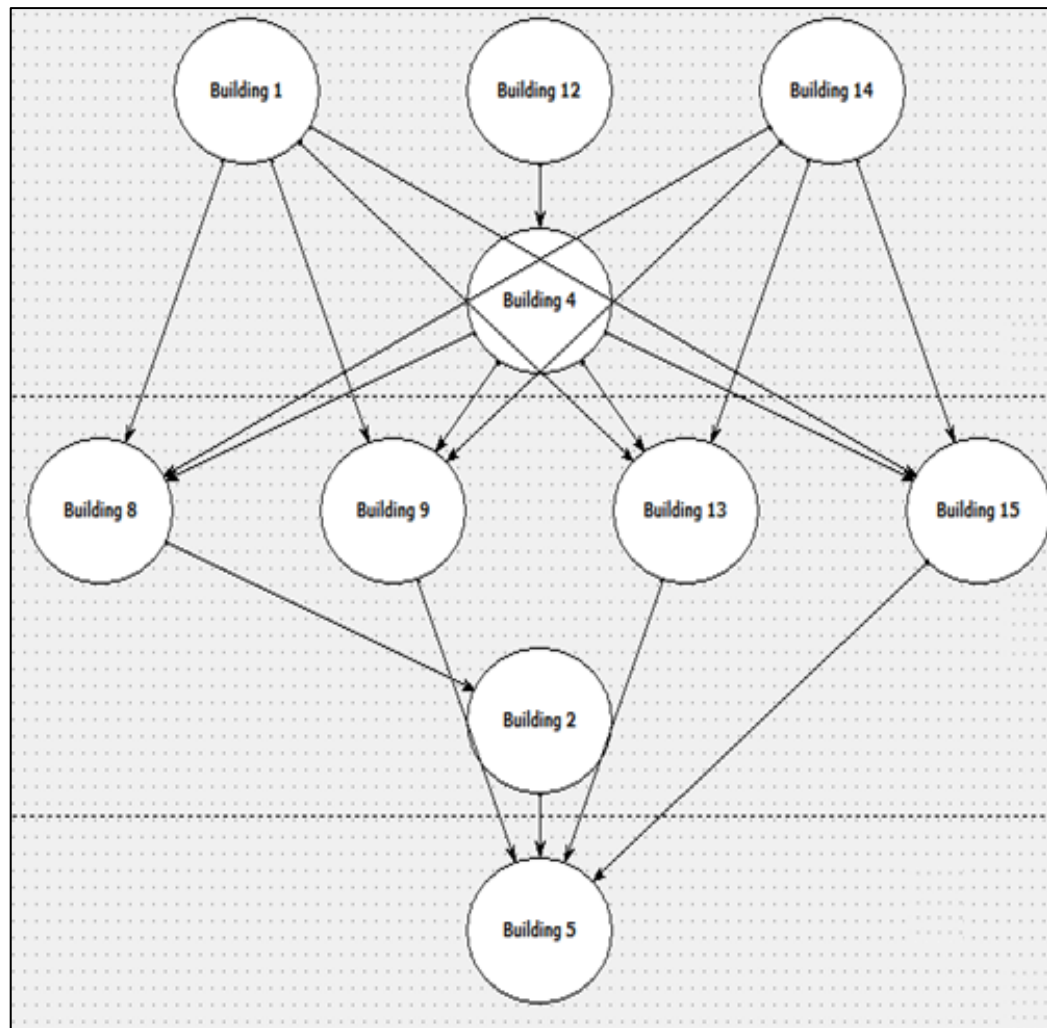
Analisando a Figura 23, é possível notar que, agora, o Building 5 foi dominado por todos os outros Buildings acima dele, incluindo Building 2 e Building 13. Desta forma, Building 5 ficou em uma posição inferior a todas as outras alternativas no ranking. Como se pode observar no Quadro 6, o ranking permaneceu com duas posições até a oitava pergunta ser respondida pelo decisor, momento em que o ranking passou a ter três posições. O Quadro 8 mostra a matriz de dominância par a par obtida no oitavo ciclo, e a Figura 24 ilustra o diagrama de Hasse correspondente.

Quadro 8 – Matriz de dominância par a par no ciclo 8

Cycle 8	Building 1	Building 2	Building 4	Building 5	Building 8	Building 9	Building 12	Building 13	Building 14	Building 15
Building 1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Building 2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 4	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Building 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Building 8	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 12	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1
Building 13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 14	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Building 15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: A Autora

Figura 24 – Diagrama de Hasse das alternativas após o ciclo 8



Fonte: SAD FITradeoff Ordenação

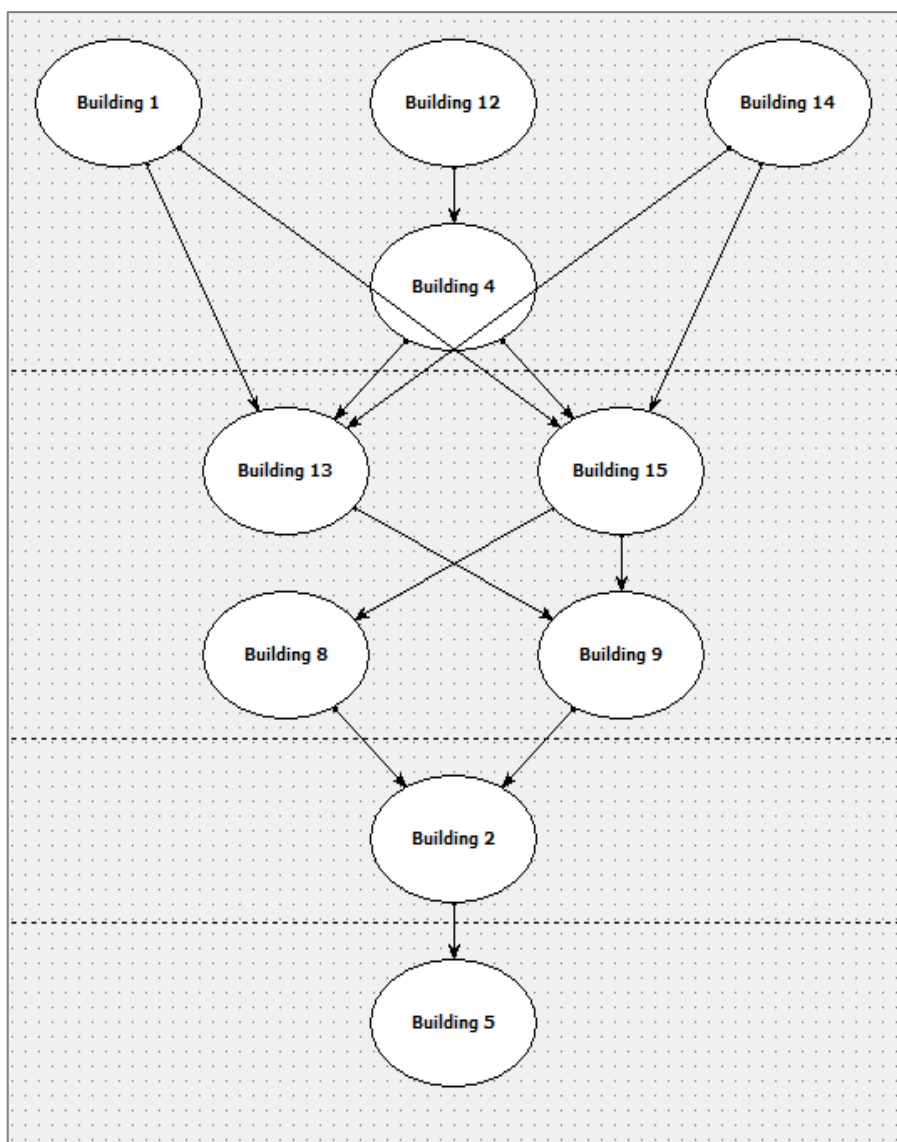
Após 9 perguntas respondidas pelo decisor, o ranking foi novamente refinado, passando a conter quatro posições. O Quadro 9 e a Figura 25 mostram, respectivamente, a matriz de dominância par a par e o diagrama de Hasse obtidos após o ciclo 9.

Quadro 9 – Matriz de dominância par a par no ciclo 9

Cycle 9	Building 1	Building 2	Building 4	Building 5	Building 8	Building 9	Building 12	Building 13	Building 14	Building 15
Building 1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Building 2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 4	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Building 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Building 8	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 9	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 12	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1
Building 13	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
Building 14	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Building 15	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0

Fonte: A Autora

Figura 25 – Diagrama de Hasse das alternativas após o ciclo 9



Fonte: SAD FITradeoff Ordenação

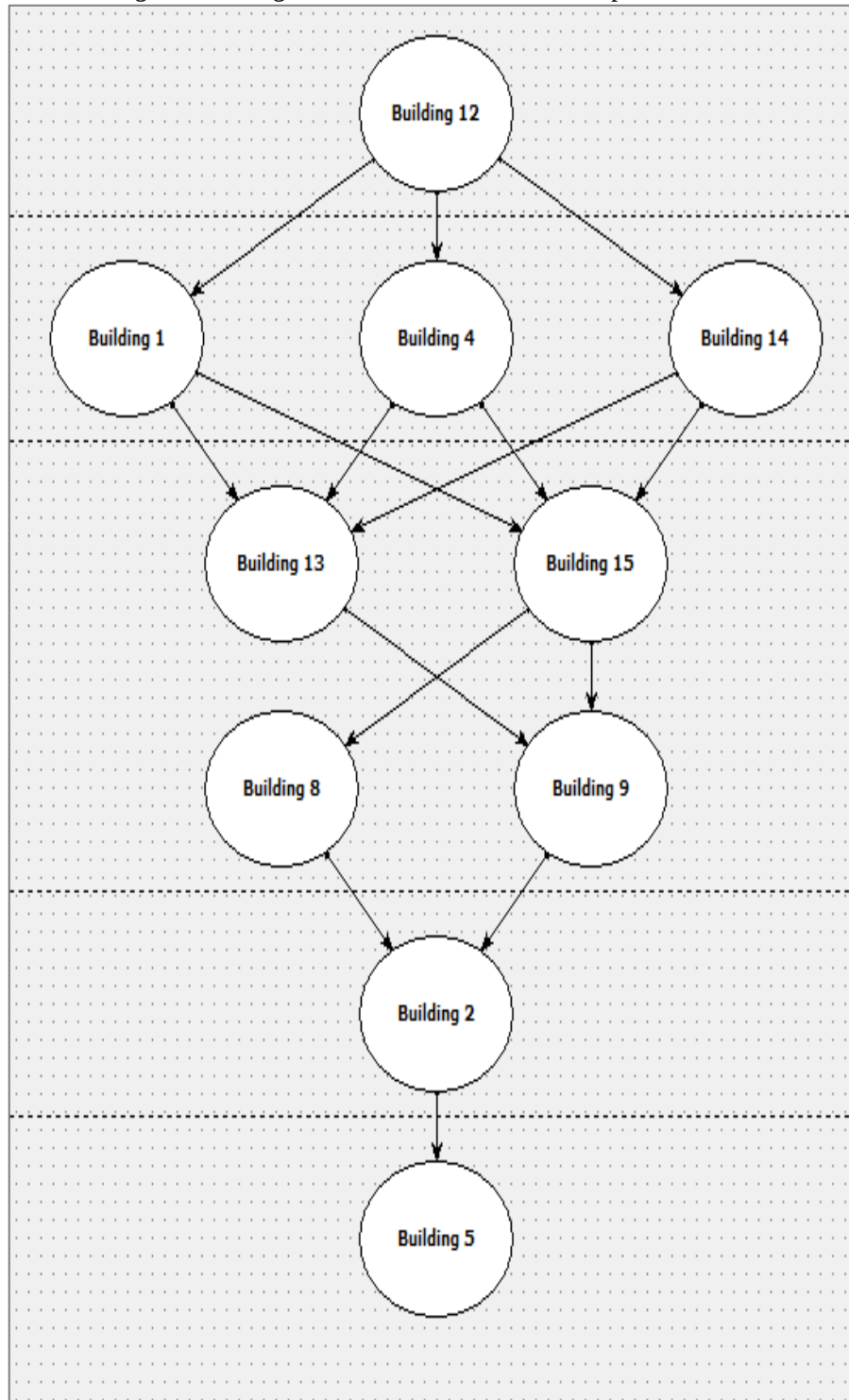
Após 11 perguntas, o ranking foi refinado novamente, de forma que cinco posições ordenadas foram formadas. O Quadro 10 mostra a matriz de dominância par a par após o ciclo 11. Nesta matriz, é possível observar, na linha do Building 12, que esta alternativa domina todas as demais. Logo, ela ocupa, sozinha, a primeira posição no ranking, como mostra o diagrama de Hasse na Figura 26.

Quadro 10 – Matriz de dominância par a par no ciclo 11

Cycle 11	Building 1	Building 2	Building 4	Building 5	Building 8	Building 9	Building 12	Building 13	Building 14	Building 15
Building 1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Building 2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 4	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Building 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Building 8	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 9	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Building 12	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Building 13	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
Building 14	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Building 15	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0

Fonte: A Autora

Figura 26 – Diagrama de Hasse das alternativas após o ciclo 11



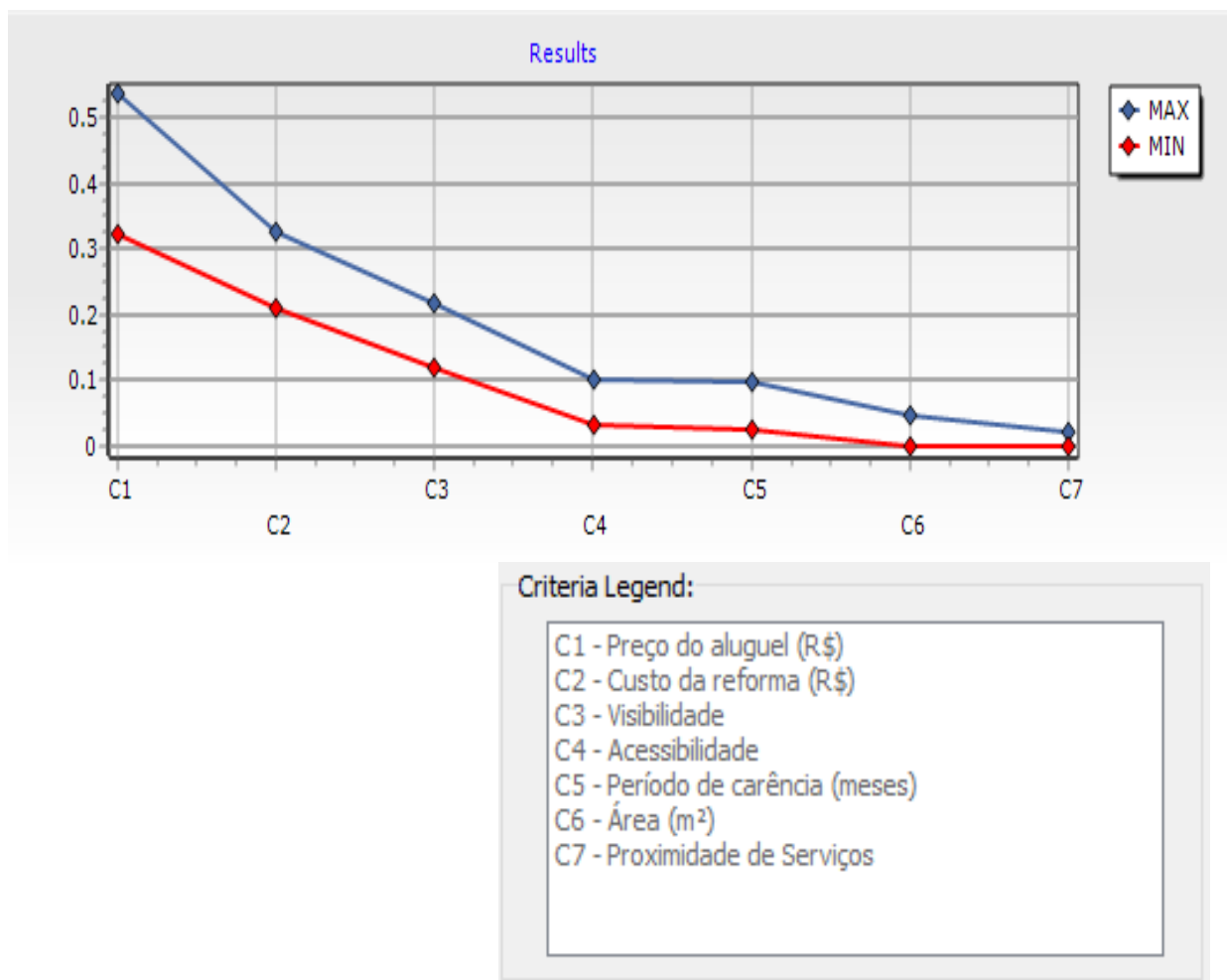
Fonte: SAD FITradeoff Ordenação

Nesta etapa do processo, o decisor optou por não responder mais perguntas e interromper o processo de elicitaco, pois o resultado parcial da Figura 26 fornecido pelo SAD já era suficiente para o seu propósito: escolher um prédio para localizar a escola. Neste caso, o problema era de escolha, porém nada impede que seja utilizado um método de

ordenação e escolhida a primeira alternativa do ranking. Novamente, reitera-se que a aplicação é para ilustrar o funcionamento do método FITradeoff para ordenação. Caso o decisor assim desejasse, ele poderia continuar respondendo perguntas, até que uma ordem – ou pré ordem – completa fosse encontrada.

A Figura 27 ilustra o espaço de pesos final obtido após as 11 perguntas respondidas pelo decisor.

Figura 27 – Espaço de pesos final após o ciclo 11



Fonte: SAD FITradeoff Ordenação

Como comentado anteriormente, o FITradeoff não trabalha com valores exatos das constantes de escala dos critérios (informação desnecessária nessa abordagem), como fazem os métodos de informação completa, mas sim com limites inferior e superior para os valores dos pesos. Estes limites mostrados na Figura 27 indicam que, para qualquer vetor de pesos dentro desse range - e normalizados de acordo com a equação 3.11 -, o ranking das alternativas permanece o mesmo da Figura 26. Desta forma, o gráfico da Figura 27 dá uma

ideia de análise de sensibilidade do resultado para possíveis alterações nos valores dos pesos. Quanto maior o range de valores de pesos, mais robusto é o resultado obtido do ranking final.

3.4 OUTRAS APLICAÇÕES

Além da aplicação ao caso real de localização de uma escola técnica mencionado na seção anterior, o sistema de apoio a decisão do método FITradeoff já foi utilizado também para apoiar o processo de tomada de decisão em outras aplicações nos mais diversos temas, como parte desta pesquisa. Problemas nas áreas de seleção de fornecedores, localização de um hospital público na cidade de Milão (Itália), seleção de pacotes tecnológicos de agricultura, entre outros, foram resolvidos com o apoio do método desenvolvido nesta pesquisa. Algumas aplicações ainda se encontram em desenvolvimento. A seguir, serão apresentadas algumas das aplicações em que o método FITradeoff foi utilizado como ferramenta de suporte a decisão e já foram concluídas.

3.4.1 Seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos

O método FITradeoff foi utilizado para auxiliar o processo de tomada de decisão em uma indústria do setor alimentício, mais especificamente de snacks, situada em Vitória de Santo Antão, Pernambuco, Brasil (FREJ ET AL., 2017; FREJ & DE ALMEIDA, 2017; FREJ & DE ALMEIDA, 2016). O problema de decisão era selecionar um fornecedor para suprir a fábrica com materiais de embalagens de um novo material que iria começar a ser fabricado naquele site.

Sete critérios foram levados em consideração na análise: preço, acurácia, pontualidade, frete, qualidade, lead time e flexibilidade. Cinco fornecedores que já eram pré-qualificados pela empresa atuaram como alternativas para o problema. O decisor do problema era o gerente do setor de compras da empresa, e analistas das áreas de logística, planejamento e controle da produção e qualidade atuaram como especialistas fornecendo informações factuais a respeito do problema de decisão para montar a matriz de consequências.

O decisor foi entrevistado pelo sistema de apoio a decisão do FITradeoff e, com apenas duas perguntas respondidas, uma única alternativa foi encontrada como solução para o problema. O método FITradeoff mostrou-se vantajoso, nesse caso, se comparado ao procedimento de tradeoff tradicional, por exemplo. Neste último, o decisor teria que responder pelo menos seis (número de critério menos um) perguntas para conseguir montar o sistema de equações e calcular os valores das constantes de escala, para assim chegar à alternativa vencedora do problema. Ademais, as perguntas respondidas pelo decisor no

FITradeoff são mais fáceis comparadas às do tradeoff tradicional, pois são perguntas que exigem apenas declarações de preferência estrita por parte do decisor, e não declarações de indiferença, como no tradeoff tradicional.

3.4.2 Localização de uma unidade de saúde pública na cidade de Milão

Buscando apoiar a decisão de localização de uma única unidade de saúde pública que substituiria dois hospitais públicos na cidade de Milão, na Itália, o método FITradeoff foi utilizado para elicitare preferências de múltiplos stakeholders a respeito deste problema (DELL OVO ET AL., 2017; DELL OVO ET AL., 2018).

A localização da chamada “La Città della Salute” visava substituir dois hospitais já existentes na cidade de Milão (Istituto Neurologico Carlo Besta e Istituto dei Tumori), e concentrar tudo em uma estrutura focada e especializada em pesquisa, ensino, ciência e treinamento, e também capaz de atender às novas demandas de saúde da população da cidade. Dezesesseis critérios foram considerados na análise do problema, divididos em quatro dimensões: qualidade funcional, qualidade ambiental, qualidade da localização e aspectos econômicos. Seis áreas potenciais da cidade de Milão foram avaliadas como candidatas a receber a instalação, conforme ilustrado na Figura 28. Em azul, estão indicados os hospitais já existentes, enquanto em vermelho estão indicadas as seis áreas potenciais para localizar a nova unidade de saúde.

Figura 28 – Mapa de Milão com as potenciais áreas para localizar uma unidade de saúde pública



Fonte: Adaptado de Dell Ovo et al. (2018)

O processo de decisão foi estruturado com base em quatro passos: 1. Análise dos stakeholders envolvidos; 2. Definição dos critérios; 3. Entrevistas com os decisores; 4. Análise dos resultados.

Os stakeholders do processo foram classificados com base em seus respectivos níveis de poder e interesse no problema de decisão. Auxiliados por um analista com alto nível de conhecimento do método FITradeoff, os stakeholders foram entrevistados separadamente, devido à limitação de suas disponibilidades de tempo. Ao final do processo, aconteceu de todos os decisores, apesar de terem respondido a diferentes quantidades de perguntas, obterem como resultado a “Área 1”.

Esta aplicação foi apresentada na International Conference on Decision Support System Technology 2017, onde ganhou o prêmio EURO Working Group on Decision Support Systems 2017 Award.

3.4.3 Seleção de pacotes tecnológicos de agricultura no México

Outra aplicação do método FITradeoff foi para selecionar um pacote tecnológico de agricultura que melhor atendesse às preferências de um agricultor na região nordeste do México (ÁLVAREZ-CARRILLO et al., 2018). Cinco critérios foram levados em consideração: rendimento de colheita, preparação do solo, processo de plantação, processo de fertilização, controle de peste e tempo de colheita. Seis diferentes pacotes que formam combinações de diferentes valores dos critérios mencionados foram avaliados como alternativas do problema.

O processo de tomada de decisão foi estruturado com base nas 12 etapas e refinamentos sucessivos propostos por de Almeida et al. (2015). O método multicritério FITradeoff foi escolhido para auxiliar o processo, devido a suas vantagens frente aos métodos de elicitación tradicionais.

As preferências de um produtor de milho foram avaliadas através do processo de perguntas e respostas do FITradeoff. Após cinco perguntas respondidas, o conjunto de alternativas potencialmente ótimas do problema continha apenas duas alternativas. Neste momento do processo, o decisor teve a possibilidade de analisar graficamente a performance das duas alternativas e tomar uma decisão naquele momento, sem a necessidade de continuar respondendo perguntas. Entretanto, o decisor preferiu continuar o processo de elicitación até o final para ver a alternativa que o sistema iria dar como resultado. Desta forma, após oito perguntas serem respondidas pelo decisor, uma única alternativa foi selecionada pelo sistema.

Este caso ilustrou um problema onde o processo de elicitação poderia ter sido encurtado através da utilização da informação fornecida pela análise dos gráficos de visualização do FITradeoff, que é uma das ferramentas de flexibilidade do sistema, conforme mostrado na seção 3.2.

3.4.4 Outras aplicações do método FITradeoff

Além das aplicações mencionadas nos itens anteriores, o sistema de apoio a decisão do método apresentado neste trabalho já foi utilizado também em outras aplicações nos mais variados temas, algumas das quais ainda estão em andamento.

Gusmão & Medeiros (2016) utilizaram o método FITradeoff para escolha de um sistema de informação gerencial; Pergher et al (2017) construíram um modelo multicritério com base no FITradeoff para tratar um problema de seleção de regras de controle para carga de trabalho em gestão da produção. Da Silva, da Fonte & de Almeida (2018) aplicaram o método FITradeoff para localizar um centro comunitário na cidade do Recife. Outra aplicação desenvolvida foi a escolha de fornecedores para equipamentos laboratoriais de uma empresa de pesquisa agropecuária na Colômbia (RODRIGUES, DE ALMEIDA & KANG, 2017).

O Sistema de Apoio a Decisão do método FITradeoff para escolha (código FU-T1ENO-CF3e, registro no INPI: BR5120160013257, 2016) também ganhou o prêmio de melhor produto tecnológico no Encontro de Pesquisa e Pós-Graduação em Engenharia de Produção (EPPGEP) 2017, da ANPEPRO. Além do EPPGEP, o sistema de apoio a decisão do FITradeoff também foi apresentado em vários congressos internacionais (DE ALMEIDA & FREJ, 2018; DE ALMEIDA & FREJ, 2017; DE ALMEIDA, FREJ & FERREIRA, 2017; FREJ & DE ALMEIDA, 2017b; FREJ & DE ALMEIDA, 2017c).

O FITradeoff foi escolhido também fazer parte dos estudos de casos apresentados na MCDM Summer School 2018 (FREJ, DE ALMEIDA & MORAIS, 2019). Ademais, estudos envolvendo simulações com o método FITradeoff foram conduzidos a fim de tentar reduzir o número de perguntas feitas ao decisor (ALMEIDA ET AL., 2016; ALMEIDA, FREJ & DE ALMEIDA, 2016). Outras aplicações do método FITradeoff nos mais diversos temas encontram-se, ainda, em fase de desenvolvimento.

4 DECISÃO EM GRUPO COM ELICITAÇÃO FLEXÍVEL USANDO INFORMAÇÃO DE ORDENAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

Situações em que múltiplos atores com poder de tomada de decisão estão envolvidos em um mesmo problema onde uma única alternativa deve ser escolhida para todos eles caracterizam um problema de tomada de decisão em grupo (DE ALMEIDA ET AL., 2012). De acordo com de Almeida & Wachowicz (2017), decisões que envolvem mais de um decisor são muito mais complexas comparadas a tomadas de decisão individual, pois envolvem diferentes pontos de vista, estruturas de preferências distintas e diversos níveis de aspiração dos vários decisores envolvidos no processo, o que o torna mais desafiador frente às situações de tomada de decisão individual.

Tendo em vista as diversas vantagens que o processo de elicitação flexível com informação parcial apresenta para os decisores em termos de economia de tempo e esforço cognitivo, foi desenvolvido um sistema de apoio a decisão em grupo com base no procedimento de elicitação flexível do FITradeoff (FG-T1ENO-CF1, em processo de registro no INPI). Para problemas de tomada de decisão em grupo, a informação das ordens individuais durante o processo pode ser bastante útil na busca por um comum acordo entre os decisores, o que evidencia a importância do modelo de ordenação apresentado no Capítulo 3 não só para tomada de decisão individual, mas também para problemas de decisão em grupo.

Neste capítulo, será apresentado o procedimento de elicitação flexível para decisão em grupo, o qual é baseado no modelo matemático do FITradeoff para problemática de ordenação apresentado no capítulo anterior. O funcionamento do sistema de apoio a decisão em grupo desenvolvido será demonstrado através de uma aplicação ilustrativa, através da qual será possível observar as diversas ferramentas de flexibilidade trazidas pelo sistema, bem como a importância da informação das ordens individuais na busca de um possível acordo entre os decisores.

4.1 DECISÃO EM GRUPO COM FITRADEOFF

Para aplicar o método FITradeoff em problemas de tomada de decisão em grupo, considera-se que todos os decisores concordam com relação à avaliação da performance das alternativas com relação aos critérios, ou seja, a matriz de consequências é a mesma para todos os decisores. O input do sistema de apoio a decisão em grupo consiste em uma planilha

com a matriz de consequências – comum a todos os decisores – e com a ordenação das constantes de escala dos critérios para cada decisor.

Após a importação dos dados de entrada, os decisores devem escolher de que forma a elicitação será conduzida: simultaneamente ou separadamente. Na elicitação conduzida separadamente, cada decisor responde às perguntas de comparação de alternativas hipotéticas feitas pelo SAD em momentos separados: o primeiro decisor começa o seu processo de elicitação e responde às perguntas do FITradeoff até que uma ordem completa das alternativas seja encontrada para ele ou até que ele esteja satisfeito com os resultados parciais obtidos, similar ao processo de decisão individual descrito em 3.3.2; em seguida, de forma análoga, o processo de elicitação é conduzido com o segundo decisor, e assim sucessivamente, até que todos os decisores tenham finalizado o processo de perguntas e respostas do FITradeoff e obtenham seus rankings finais individuais, os quais são analisados com apoio de um analista ao final do processo, e então busca-se pela escolha de uma melhor alternativa para o grupo como um todo, com base nessas informações. Já no processo de elicitação simultânea, o primeiro decisor responde à primeira pergunta, depois o segundo decisor responde à primeira pergunta, e assim por diante; o primeiro decisor só irá responder à segunda pergunta quando todos os decisores já tiverem respondido à primeira. A elicitação simultânea tem a vantagem de que os resultados parciais de todos os decisores podem ser analisados de forma conjunta, a qualquer tempo durante o processo, o que pode contribuir para o alcance de um acordo entre os indivíduos do grupo antes mesmo de cada um finalizar o seu processo de elicitação. O benefício desta abordagem frente à elicitação separada está, também, na possibilidade de haver uma reunião de todos os decisores, que tentariam conciliar suas agendas, para que eles pudessem discutir ao longo do processo sobre os seus resultados parciais, observando os rankings uns dos outros e tentando chegar a uma solução boa para o grupo como um todo. A elicitação simultânea também deve ser conduzida com o auxílio de um analista, que deve guiar o processo e auxiliar os decisores na interpretação dos gráficos de visualização e demais resultados parciais.

Deve-se deixar claro que a ferramenta de apoio a decisão em grupo apresentada neste trabalho visa auxiliar o processo de tomada de decisão em grupo para a problemática de escolha. Ou seja, a ideia é que, a partir da visualização dos rankings individuais dos decisores, eles consigam chegar a um acordo sobre a alternativa que melhor atenderia aos interesses do grupo como um todo. Entretanto, em alguns casos em que os decisores tenham opiniões semelhantes e apresentem rankings similares, também é possível chegar a um comum acordo

para um ranking de alternativas para o grupo. Por fim, caso haja grande divergência entre os rankings individuais dos decisores e ainda assim eles desejarem chegar a um ranking para o grupo como um todo, é possível fazê-lo através de outras abordagens, como, por exemplo, procedimentos de votação.

4.2 SISTEMA DE APOIO A DECISÃO EM GRUPO: APLICAÇÃO ILUSTRATIVA

Este tópico ilustra o funcionamento do sistema de apoio a decisão para resolver problemas multicritério de decisão em grupo (ou MCGDM – multicriteria group decision-making) baseado no FITradeoff, com um problema de seleção de uma alternativa para melhorar a segurança de tanques de óleo e prevenção à poluição, previamente apresentado por Ulvilla & Snider (1980).

4.2.1 Descrição do problema

A situação do problema apresentada por Ulvila & Snider (1980) é uma negociação entre países na International Conference on Tanker Safety and Pollution Prevention, que visa a adoção de novas medidas para melhorar a segurança de tanques de óleo, bem como reduzir os impactos ambientais causados pelos navios no mar. Os Estados Unidos e vários outros países estavam envolvidos no processo de negociação, e quatro pacotes de alternativas de ação (U.S Proposal, Package 1, Package 2 e MARPOL 73) foram avaliados com respeito a onze critérios: fluxo de petróleo (WO), óleo em águas próprias (OOW), segurança (SF), custo (CT), dólares por tonelada (DPT), facilidade de passar o custo ao consumidor (EPC), aluguel do navio (CP), excesso de tanque (TS), estaleiro (SP), vantagem competitiva (CA), e obrigatoriedade (EF). A performance das alternativas com respeito a cada critério foi definida em uma escala de 0 a 100, onde o valor 0 representa a pior consequência e o valor 100 representa a melhor consequência. O Quadro 11 apresenta a matriz de consequências do problema.

Quadro 11 – Matriz de consequências do problema

Alternativas	WO	OOW	SF	CT	DPT	EPC	CP	TS	SP	CA	EF
MARPOL 73	0	0	0	100	0	100	100	0	0	0	0
US Proposal	81	100	100	0	0	0	0	100	100	100	100
Package 2	100	0	50	95	100	95	95	0	20	20	10
Package 1	80	100	85	30	32	30	10	95	90	90	90

Fonte: Ulvila & Snider(1980)

Um total de vinte e um países iria participar da conferência, mas os autores escolheram dez deles para ilustrar a análise. A identidade dos países – com exceção dos EUA – foi omitida na descrição da aplicação, e eles foram representados por A, B, C, etc. Os pesos dos critérios foram elicitados para um grupo pequeno de representantes de cada país. O peso resultante de cada país para cada critério é mostrado no Quadro 12. O problema foi resolvido por Ulvila & Snider (1980), com base nos conceitos de MAVT, através do uso de uma função de agregação aditiva, e um score para cada alternativa foi calculado para cada decisor.

Quadro 12 – Pesos dos critérios para cada país

Países	WO	OOW	SF	CT	DPT	EPC	CP	TS	SP	CA	EF
US	0,15	0,24	0,24	0,08	0,1	0	0	0	0,02	0	0,17
A	0,03	0,09	0,09	0	0,09	0	0,03	0	0,14	0,26	0,29
B	0,03	0,17	0,05	0,03	0	0	0,12	0,25	0,15	0,1	0,1
C	0,03	0,17	0,05	0,03	0	0	0,12	0,25	0,15	0,1	0,1
D	0	0,04	0,04	0,43	0,17	0,13	0,04	0	0,02	0,07	0,04
E	0,02	0,04	0,06	0,22	0,07	0,22	0,07	0,04	0,18	0,07	0
F	0	0,3	0,15	0,3	0,03	0,06	0	0	0	0	0,15
G	0,17	0,17	0,2	0,29	0,03	0	0	0	0	0	0,14
H	0	0	0	0,3	0,03	0	0,2	0,1	0	0,03	0,33

I	0,07	0,07	0,1	0,15	0,12	0	0,12	0	0	0,12	0,24
---	------	------	-----	------	------	---	------	---	---	------	------

Fonte: Ulvila & Snider(1980)

4.2.2 Processo de decisão

No sistema de apoio a decisão em grupo do FITradeoff, o primeiro passo é importar a planilha com os dados de entrada, a qual deve conter a matriz de consequências do problema e a ordem dos critérios para cada decisor. A ordem dos pesos pode ser obtida a partir dos valores do Quadro 12. O Quadro 13 mostra a ordenação dos pesos dos critérios para cada decisor.

Quadro 13 – Ordenação dos pesos dos critérios para cada decisor

Criteria Order	WO	OOW	SF	CT	DPT	EPC	CP	TS	SP	CA	EF
US	4	1	1	6	5	0	0	0	7	0	3
A	7	4	4	0	4	0	7	9	3	2	1
B	8	2	7	8	0	0	4	1	3	5	5
C	7	2	5	4	7	0	0	5	0	3	1
D	0	5	5	1	2	3	5	0	9	4	5
E	10	8	7	1	4	1	4	8	3	4	0
F	0	1	3	1	6	5	0	0	0	0	3
G	3	3	2	1	6	0	0	0	0	0	5
H	0	0	0	2	5	0	3	4	0	5	1
I	7	7	6	2	3	0	3	0	0	3	1

Fonte: A Autora

Estes pesos do Quadro 12 foram utilizados também para simular as respostas às perguntas feitas pelo sistema para cada decisor. Deve ser ressaltado que o FITradeoff permite que diferentes decisores considerem diferentes critérios em suas avaliações. O problema apresentado ilustra bem este caso, pois no Quadro 12, alguns critérios têm peso 0 para alguns decisores, o que significa que eles não desejam considerar estes critérios em suas avaliações. Por exemplo, os critérios EPC e TS não são considerados na avaliação do decisor “A” (países são tratados como decisores, para fins de simplificação). Estes critérios que os decisores não desejam considerar em suas avaliações devem ser sinalizados com o número zero na planilha de entrada com a ordenação dos pesos, como mostra o Quadro 13.

Após a importação dos dados de entrada, os decisores escolhem se desejam fazer a elicitación simultaneamente ou separadamente, conforme explicado no tópico 4.1 (neste trabalho, será ilustrado o caso de uma elicitación simultânea). Em seguida, os decisores começam a responder a perguntas feitas pelo FITradeoff, conforme explicado anteriormente no tópico 3. A Figura 29 mostra a tela do sistema de apoio a decisão em grupo com uma pergunta feita ao decisor “US”, bastante similar à Figura 18 do sistema de apoio a decisão individual para ordenação. A diferença é que, na Figura 29, no canto direito superior da tela é mostrado qual decisor está respondendo a pergunta (“Current Decision Maker”), além de quantas perguntas ele já respondeu, quantas posições do ranking foram obtidas até aquele momento e quantas são as alternativas potencialmente ótimas, considerando também uma análise de potencial otimalidade.

Figura 29 – Pergunta na elicitación flexível do decisor US

Which consequence do you prefer?
Answer the questions by choosing one option

Consequence A

Criterion	Value
C1	X1: 50
C2	W2: 0
C3	W3: 0
C4	W4: 0
C5	W5: 0
C6	W6: 0
C7	W7: 0

Consequence B

Criterion	Value
B1	W1: 0
B2	100
B3	W2: 0
B4	W3: 0
B5	W4: 0
B6	W5: 0
B7	100

Note:
 W is the worst outcome of criterion Ci
 X is an outcome in between best and worst of criterion Ci
 B is the best outcome of criterion Ci

Current Decision Maker
US
 Number of Questions Answered: 0
 Number of Potentially Optimal Alternatives: 2
 Number of Ranking levels: 3

Options:
☐ Consequence A
☐ Consequence B
☐ Indifferent
☐ No Answer

OK
Show Current Results

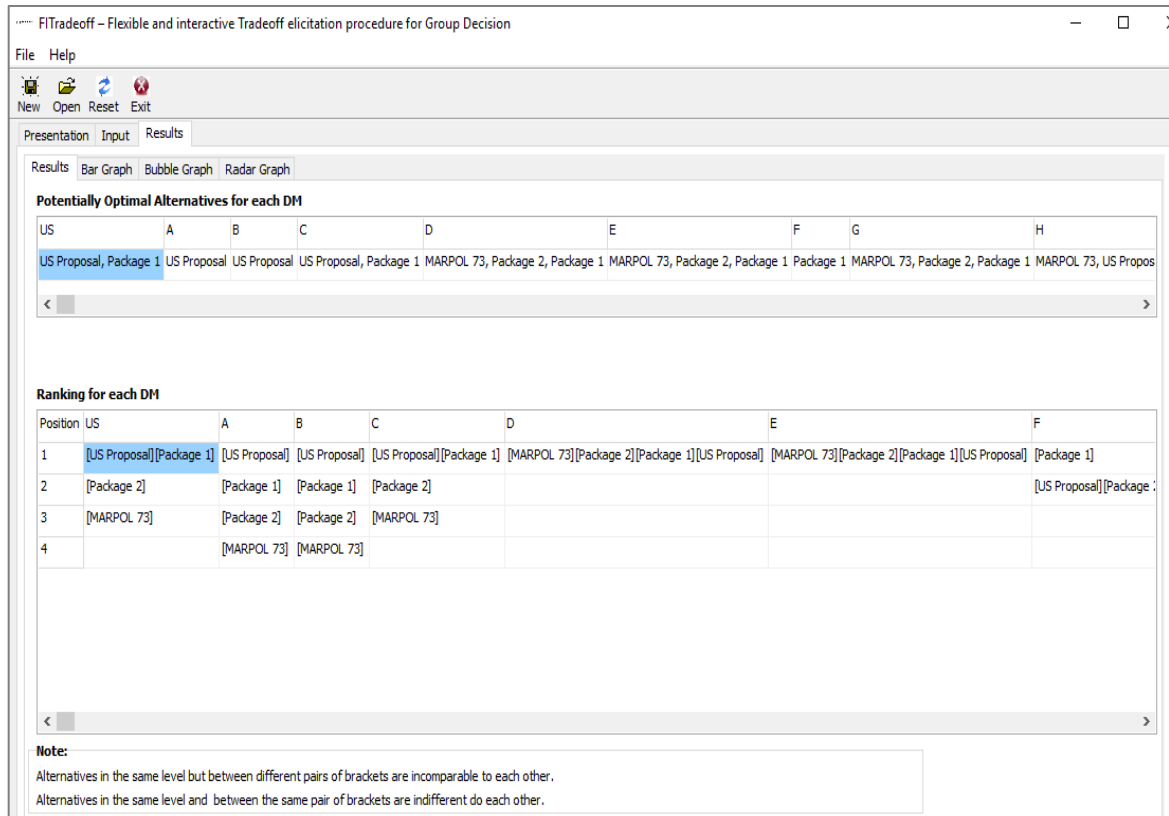
Chosen Order:
 C1 - OOW
 C2 - SF
 C3 - EF
 C4 - WO
 C5 - DPT
 C6 - CT
 C7 - SP

Fonte: SAD FITradeoff Decisão em Grupo

Ao clicar no botão “Show Current Results”, no lado direito da tela na Figura 29, é possível visualizar os resultados parciais obtidos para cada decisor até aquele momento. A Figura 30 mostra a tela do sistema de apoio a decisão em grupo com os resultados parciais,

com dois quadros: a primeira mostra as alternativas potencialmente ótimas para cada decisor, calculadas a partir da análise de potencial otimalidade explicada no tópico 3.1, e a segunda mostra o ranking das alternativas para cada decisor, obtido com base na análise de dominância e no algoritmo apresentados ao longo do capítulo 3.

Figura 30 – Tela de resultados parciais



Fonte: SAD FITradeoff Decisão em Grupo

Ao clicar no botão “Show Current Results”, no lado direito da tela na Figura 29, é possível visualizar os resultados parciais obtidos para cada decisor até aquele momento. A Figura 30 mostra a tela do sistema de apoio a decisão em grupo com os resultados parciais obtidos apenas com a informação a respeito da ordenação das constantes de escala dos critérios por cada decisor. Dois quadros são apresentados: o primeiro mostra as alternativas potencialmente ótimas para cada decisor, calculadas a partir da análise de potencial otimalidade explicada no tópico 3.1, e o segundo mostra o ranking das alternativas para cada decisor, obtido com base na análise de dominância e no algoritmo apresentados ao longo do capítulo 3.

Na Figura 30, é possível ver que, nesta etapa do processo, uma ordem completa das alternativas já foi encontrada para alguns decisores, como “A” e “B”, apenas com a

informação da ordenação dos critérios pelos decisores. Para alguns outros decisores, uma ordem parcial das alternativas foi encontrada, como pode-se observar nos rankings dos decisores “US”, “C” e “F”, por exemplo.

No FITradeoff, a ideia é que os decisores forneçam mais informações preferenciais ao longo das perguntas, de forma que o espaço de pesos de cada um deles vai se estreitando, e assim os resultados vão sendo refinados. Supondo que os decisores seguissem o processo padrão do FITradeoff de responder a todas as perguntas até o final do processo de elicitación, o resultado obtido – de acordo com os pesos do Quadro 12 -, o resultado final obtido para cada decisor seria conforme mostrado no Quadro 14.

Quadro 14 – Resultado final para cada decisor

DM		US	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Número de perguntas		14	0	0	16	14	29	4	12	16	10
Ordem final	1	PCK1	US P.	US P.	US P., PCK1	PCK2	PCK2	PCK1	PCK1	PCK2	PCK1
	2	US P.	PCK1	PCK1	PCK2	MP73	PCK1	US P.	US P.	PCK1	US P.
	3	PCK2	PCK2	PCK2	MP73	PCK1	US P.	PCK2	PCK2	MP73	PCK2
	4	MP73	MP73	MP73	-	US P.	MP73	MP73	MP73	US P.	MP73

Fonte: A Autora

Pelo Quadro 14, pode-se notar que a alternativa Package 1 (PCK 1) foi considerada a melhor alternativa para os decisores US, F, G e I, e também para o decisor C, para o qual esta alternativa está empatada com US Proposal (US P.) na primeira posição do ranking. Portanto, para cinco dos dez decisores do problema, Package 1 seria a melhor opção. A alternativa Package 2 (PCK 2) foi considerada a melhor alternativa para três decisores: D, E e H. US Proposal foi a alternativa vencedora para os decisores A, B e C. Já MARPOL 73 (MP73) não foi considerada vencedora por nenhum decisor, e esta alternativa ocupa a última posição do ranking para todos os decisores, exceto para “D” e “H”. Com relação ao ranking das alternativas, pode-se observar que os decisores US, F, G e I obtiveram exatamente o mesmo ranking ao final do processo. O ranking dos decisores A e B diferem do ranking destes decisores apenas pela troca da primeira e segunda posição.

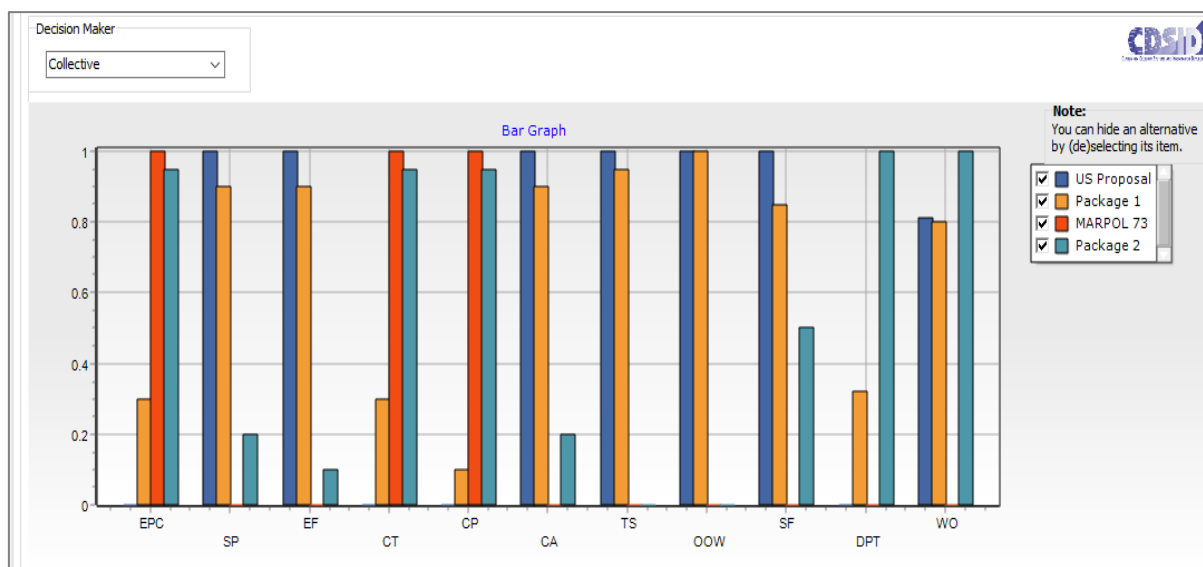
Com relação ao número de perguntas respondidas pelos decisores durante o processo de elicitación, alguns decisores precisaram responder um número maior de perguntas para completar o processo, como é o caso dos decisores US, C, E e H, por exemplo. Por outro lado, alguns outros decisores obtiveram uma ordem completa das alternativas apenas com a informação da ordenação dos pesos dos critérios, como foi o caso dos decisores A e B. Apesar desta grande diferença no número de perguntas entre os decisores, não é necessário que todos eles respondam a todas as perguntas do processo para que cheguem a uma decisão final, pois as ferramentas de flexibilidade do sistema de apoio a decisão em grupo do FITradeoff tornam possível o alcance de um acordo mesmo antes do final da elicitación, tópico este que será discutido no próximo tópico.

4.2.3 Discussão dos resultados

A principal característica do sistema de apoio a decisão do FITradeoff é a flexibilidade. Os decisores podem visualizar resultados parciais a cada etapa do processo, e pode acontecer de eles chegarem a um acordo antes mesmo do final da elicitación, com base na análise dos resultados parciais fornecidos pelo sistema a respeito dos rankings individuais e também com a ajuda das ferramentas de visualização gráfica.

Por exemplo, considerando os resultados parciais obtidos com a informação da ordenação das constantes de escala, além dos resultados mostrados na Figura 30, o sistema fornece também a visualização gráfica dos resultados parciais das melhores alternativas para cada decisor (similar aos gráficos mostrados nas Figuras 9, 10 e 11), e também um gráfico coletivo que mostra as melhores alternativas para todos os decisores ao mesmo tempo, como mostrado na Figura 31.

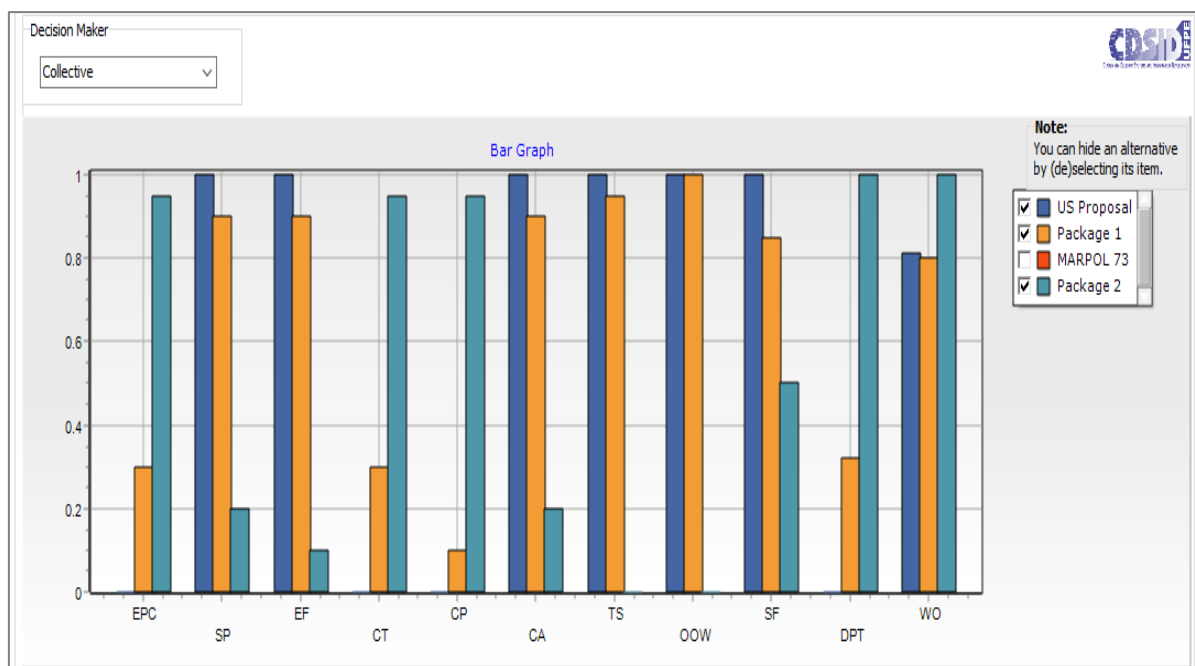
Figura 31 – Gráfico de barras coletivo



Fonte: SAD FITradeoff Decisão em Grupo

Nesta etapa do processo, todas as quatro alternativas do problema são mostradas no gráfico coletivo, pois todas elas são consideradas potencialmente ótimas para pelo menos um decisor. Analisando a Figura 31, é possível observar que a alternativa MARPOL 73 tem a melhor performance em três critérios (EPC, CT e CP), mas, por outro lado, tem a pior performance para os outros oito critérios. Outra característica de flexibilidade do sistema é a possibilidade de de-selecionar alternativas na caixa ilustrada no canto superior direito da tela da Figura 31, de forma que o gráfico mostra apenas um subconjunto de alternativas, escolhidas pelos decisores. Tendo em vista que a alternativa MARPOL 73 tem a pior performance na grande maioria dos critérios avaliados, esta alternativa poderia ser removida da visualização gráfica, de forma de as outras três serem melhor visualizadas e comparadas entre si, conforme mostrado na Figura 32.

Figura 32 – Gráfico de barras coletivo sem MARPOL 73



Fonte: SAD FITradeoff Decisão em Grupo

A Figura 32 ilustra a comparação das três melhores alternativas do problema. Através do gráfico, pode-se observar que Package 2 tem uma boa performance em cinco dos onze critérios, e tem uma performance muito baixa em todos os outros seis. É possível notar também que as alternativas US Proposal e Package 1 parecem ter desempenhos muito próximos neste problema. Elas têm performances similares – e altas – em sete dos onze critérios. Entretanto, Package 1 tem vantagem sobre US Proposal nos quatro critérios restantes (EPC, CT, CP e DPT). Para estes quatro critérios, a performance de Package 1 é baixa, mas melhor do que a de US Proposal, que apresenta o pior desempenho possível neles.

Esta abordagem de utilização de visualização gráfica para aprimorar análises de resultados em sistemas de apoio a decisão multicritério tem sido explorada em conjunto com ferramentas de neurociência (ROSELLI, FREJ & DE ALMEIDA, 2018; ROSELLI, DE ALMEIDA & FREJ, 2019), através de experimentos com equipamentos como Eletroencefalograma (EEG) e Eye Tracking, os quais conseguem captar informações do comportamento de partes do corpo humano no momento de tomada de decisão. Esta é uma área que possui grande potencial para a melhoria das ferramentas de visualização em sistemas de apoio a decisão multicritério.

Um ponto importante a ser destacado é que todo esse processo de eliciação deveria ser guiado por um analista, que poderia ajudar os decisores com este tipo de análise. Seguindo

esta linha de raciocínio, o analista poderia mostrar aos decisores a vantagem de Package 1 sobre as outras alternativas, e eles poderiam, possivelmente, concordar que esta seria a melhor alternativa para o grupo como um todo. A análise dos rankings individuais no Quadro 14 também evidencia esta vantagem para a alternativa Package 1, já que esta alternativa está em primeiro ou segundo lugar no ranking da maioria dos decisores (apenas para um deles – decisor D – ela está em terceiro lugar, e nenhum decisor ranqueia ela como última colocada). Esta informação dos rankings individuais de cada decisor é crucial para a tomada de decisão em grupo, pois com isso os decisores conseguem ver em que posição a sua melhor alternativa está no ranking dos demais, e também em que posição de seu ranking estão as melhores alternativas dos demais decisores. É válido ressaltar que é possível fazer análises desse tipo desde o início do processo de elicitação, quando os decisores ainda nem começaram a responder as perguntas, o que mostra que o processo de elicitação pode ser reduzido com base na análise de gráficos e rankings parciais.

Deve ser ressaltado que, sim, pode acontecer de os decisores não chegarem a um comum acordo, mesmo com todas essas análises e com o suporte de um analista. Esta questão irá depender muito da personalidade das partes envolvidas, e do quanto cada um dos decisores está disposto a abdicar de suas preferências individualizadas para chegar a uma solução que seja melhor para o grupo como um todo. Nestas situações onde a divergência de opiniões permanece até o fim do processo de elicitação, o problema de decisão em grupo pode ser resolvido de outras formas alternativas. Pode-se, por exemplo, aplicar procedimentos de votação a partir dos rankings individuais obtidos ao final da elicitação com o FITradeoff. Outra alternativa seria aplicar regras de decisão com base nos valores máximos e mínimos de cada alternativa para cada decisor, os quais podem ser calculados a partir de problemas de programação linear considerando o espaço de pesos atual de cada um dos atores. Por fim, pode-se, ainda, efetuar uma agregação aditiva dos resultados dos decisores, atribuindo-se pesos a cada um deles; esta é uma alternativa que deve ser aplicada com cautela, visto que o estabelecimento de pesos para decisores não é uma questão trivial (DE ALMEIDA ET AL., 2012). Todas estas alternativas estão sendo analisadas e incorporadas ao sistema de apoio a decisão em grupo do FITradeoff, de forma a aumentar mais ainda a gama de opções de processos a serem seguidos pelos decisores nas situações de tomada de decisão e enriquecendo as ferramentas de flexibilidade do método.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo tem por objetivo discorrer sobre as principais conclusões advindas deste trabalho, e também apresentar sugestões para possíveis trabalhos futuros na linha do que foi desenvolvido e apresentado nesta tese e que podem dar continuidade às pesquisas nesta área também serão mencionados, no final deste capítulo.

5.1 CONCLUSÕES

Este trabalho propôs uma extensão do método de elicitação por tradeoff interativo e flexível (FITradeoff) para auxiliar na tomada de decisão em problemas multicritério cujo objetivo consiste em ordenar alternativas, e também para situações de tomada de decisão em grupo. O FITradeoff (DE ALMEIDA *et al.*, 2016) foi originalmente desenvolvido para resolver problemas de escolha, apenas, com base no conceito de potencial otimalidade. Este conceito mostrou-se insuficiente para lidar com ordenação de alternativas e, por isso, foi sugerida neste trabalho a análise de relações de dominância par a par entre as alternativas para lidar com problemas de ordenação em situações de informação parcial a respeito das preferências do decisor. Com embasamento em definições, proposições e teorema apresentados neste trabalho, foi possível desenvolver o método FITradeoff para a problemática de ordenação, o qual consiste em um algoritmo de duas etapas para ordenar alternativas através de uma matriz de dominância par a par, obtida através de problemas de programação linear. O método é operado por meio de um sistema de apoio a decisão, no qual um processo interativo de elicitação é conduzido junto ao decisor.

A partir do que foi explanado sobre o novo método de ordenação ao longo deste trabalho, é possível destacar algumas vantagens do mesmo em comparação a outras abordagens. O principal benefício é a flexibilidade que o método, através do SAD, fornece ao decisor em diversas etapas do processo de elicitação. A começar pela ordenação das constantes de escala, que pode ser conduzida de duas formas diferentes: por avaliação holística ou por comparação par a par. Essa opção é dada ao decisor porque, em geral, em problemas com muitos critérios, é difícil para ele conduzir uma avaliação holística considerando todos ao mesmo tempo, de forma que mais fácil compará-los aos pares; e, em contrapartida, quando poucos critérios estão envolvidos no problema, o decisor pode achar mais fácil fazer diretamente uma avaliação holística do que responder a várias perguntas de comparação par a par. Outra característica de flexibilidade do método é a visualização dos

resultados parciais, a qualquer momento durante o processo. O SAD oferece a visualização do ranking parcial das alternativas através de um diagrama de Hasse, que apresenta a propriedade de redução transitiva, a qual torna mais simples o grafo, facilitando a visualização do ranking e evitando esforço cognitivo desnecessário por parte do decisor. Esta visualização dos resultados parciais a qualquer tempo permite que o decisor interrompa o processo de elicitação se o resultado parcial já for suficiente para seus propósitos, como foi ilustrado na aplicação apresentada na Seção 3.3.3. O decisor também pode interromper o processo se achar que não está mais disposto a fornecer informações de preferência, poupando esforço cognitivo. Durante o processo de perguntas e respostas do FITradeoff, existe, ainda, a opção do decisor pular perguntas que não souber responder, escolhendo a opção “No answer” para estas perguntas. O sistema, automaticamente, fará uma nova pergunta diferente, sem prejuízos de perda de informação no processo.

Com base no algoritmo de ordenação desenvolvido neste trabalho, foi criado também um sistema de apoio a decisão em grupo, para auxiliar a resolução de problemas de decisão multicritério que envolvem mais de um ator com poder de decisão. A principal contribuição do sistema de apoio a decisão em grupo apresentado é fornecer ferramentas de flexibilidade para dar opções de caminhos a serem seguidos pelos decisores durante o processo de elicitação. O caminho tradicional seria seguir o processo de elicitação até o fim, e então, com base nos rankings individuais obtidos pelos decisores, tentar chegar a um acordo para obter uma decisão satisfatória para o grupo como um todo. O SAD do FITradeoff para decisão em grupo oferece, entretanto, a possibilidade de visualização de resultados parciais no meio do processo, a qualquer momento que os decisores o queiram fazer. Estes resultados incluem o ranking individual para cada decisor, o conjunto de alternativas potencialmente ótimas de cada decisor, e ainda gráficos de visualização – individuais e coletivo – das melhores alternativas. Foi ilustrado, neste trabalho, que é possível que os decisores cheguem a um acordo a respeito da melhor alternativa sem precisar completar todo o procedimento padrão de elicitação, através da exploração destas ferramentas de flexibilidade do sistema junto a um analista que deve guiar o processo. Cabe ressaltar também que a informação dos rankings individuais dos decisores, os quais estão disponíveis para visualização durante toda a elicitação, é crucial para o processo de tomada de decisão de decisão em grupo, pois torna possível que cada decisor veja como estão as suas melhores alternativas nos rankings dos demais e vice-versa, o que pode leva-los a alcançar mais facilmente um acordo. O SAD do FITradeoff para decisão em grupo encontra-se em fase de implementação de novas

funcionalidades, para dar aos decisores também outras opções de solucionar o problema de decisão em grupo, caso não seja alcançado um comum acordo, como foi comentado no capítulo 4. A ideia é que seja dada aos usuários, ainda, a possibilidade de utilizar regras de decisão ou mesmo de efetuar uma agregação dos resultados dos decisores, a partir de sistemas de votação ou então uma agregação aditiva, através da atribuição de pesos para os decisores.

Cabe destacar uma questão relacionada ao limiar de indiferença ϵ mencionado no capítulo 3, mais especificamente na Definição 5. A ideia deste limiar, como foi apresentado anteriormente, é ser o maior valor da diferença de valor global entre duas alternativas abaixo do qual existe uma relação de indiferença entre elas. Limiares de indiferença são amplamente utilizados também em métodos de sobreclassificação como ELECTRE e PROMETHEE (DE ALMEIDA ET AL., 2015), mas o uso destes limiares também traz alguns questionamentos a respeito da forma como estes valores são definidos. Uma definição do valor do limiar de indiferença de forma arbitrária pode acabar levando à ocorrência de distorções nos resultados obtidos pelo método, pois se for definido um valor relativamente alto comparado ao range de valores globais das alternativas, pode acontecer de ser encontrada uma relação de indiferença entre alternativas que na verdade não o são. Esta questão traz à tona a necessidade de um estabelecimento de um procedimento para elicitar valores para o limiar de indiferença, guiado por um analista – figura usualmente recomendada em processos de apoio a decisão de forma geral –, para que ele seja definido de forma consistente de acordo com o problema em questão, e seja pequeno o suficiente para não causar grandes distorções nos resultados.

Outra ponto relevante é com relação ao número máximo de alternativas suportado pelo sistema de apoio a decisão do FITradeoff, tanto para ordenação quanto para decisão em grupo. Existe uma limitação computacional no software que restringe este número de alternativas, devido à capacidade operacional para rodar os problemas de programação linear. Este limite irá depender da combinação entre o número de alternativas e o número de critérios, visto que os problemas de programação linear envolvem tanto parâmetros dos critérios quanto das alternativas. Mas, em geral, problemas com mais de 100 alternativas já não conseguem ser resolvidos através dos sistemas apresentados. Apesar disso, esta limitação raramente irá impedir um problema de decisão multicritério real de ser resolvido pelo FITradeoff, visto que, quando existe um número muito elevado de alternativas, muitas delas são consideradas dominadas, ou seja, possuem desempenho inferior ou igual a alguma outra alternativa em todos os critérios, e estritamente inferior em ao menos um critério. Estas

alternativas dominadas devem ser retiradas da análise antes mesmo de ser iniciada a aplicação do método FITradeoff, pois não faz sentido considera-las na avaliação.

Uma significativa vantagem do FITradeoff em comparação a outras abordagens é que ele segue um processo de elicitação estruturado, baseado em tradeoffs, preservando toda a estrutura axiomática de MAVT, ao contrário da maioria dos métodos de informação parcial presentes na literatura, os quais não possuem um procedimento de elicitação estruturado para conseguir informações do decisor, e o fazem de forma arbitrária. Além disso, o FITradeoff trabalha com informações de preferência estrita fornecidas pelo decisor, diferentemente do que ocorre no procedimento de tradeoff tradicional, onde o decisor precisa estabelecer pontos exatos que tornam duas consequências indiferentes para ele. Desta forma, a informação requerida pelo FITradeoff é cognitivamente mais fácil do que aquela do tradeoff tradicional, o que leva a uma menor taxa de inconsistências no processo de elicitação. O método FITradeoff foi vencedor do prêmio de melhor produto tecnológico no EPPGEP 2017, da ANPEPRO, e também ganhou o prêmio EURO Working Group on Decision Support Systems 2017 Award, na ICDSST 2017.

Em suma, este trabalho apresentou um método multicritério para ordenar alternativas a partir de informação parcial sobre as preferências do decisor, flexível e de fácil utilização, o qual pode ser aplicado para resolver problemas de decisão multicritério individual e em grupo nos mais variados temas. Foram desenvolvidos dois produtos tecnológicos: para ordenação na tomada de decisão individual, e para escolha na tomada de decisão em grupo; ambos estão em processo de registro no INPI. Os sistemas de apoio a decisão do FITradeoff estão disponíveis para download no site www.fitradeoff.org.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, podem-se destacar os estudos já iniciados na área de neurociência que visam melhorar sistemas de apoio a decisão multicritério e em grupo, através de experimentos que buscam entender o comportamento dos decisores durante o processo de elicitação. Estudos preliminares foram desenvolvidos (ROSELLI, FREJ & DE ALMEIDA, 2018; ROSELLI, DE ALMEIDA & FREJ, 2019), que sugeriram possíveis melhorias que poderiam ser implementadas no SAD FITradeoff, identificadas a partir de diversos experimentos relacionados à análise da visualização gráfica no método. Essa é uma área muito promissora e já rendeu uma premiação internacional para jovens pesquisadores (prêmio concedido a dois alunos de doutorado pelo artigo por Roselli, Frej & de Almeida,

2018) em 2018, na Conferência Internacional promovida pela Sociedade Internacional de Decisão em Grupo e Negociação (GDN Section – INFORMS).

Uma outra sugestão para trabalho futuro é o desenvolvimento dos sistemas de apoio a decisão do FITradeoff em uma plataforma web-based, para que os sistemas sejam mais facilmente acessíveis. Outra vantagem disso seria no caso de decisão em grupo, onde os decisores poderiam executar o processo de elicitação simultaneamente mesmo se não estiverem geograficamente no mesmo local. A plataforma permitiria que eles visualizássemos resultados parciais uns dos outros em tempo real, e assim poderiam possivelmente chegar a um acordo sem necessariamente estarem reunidos fisicamente.

Outra linha de trabalho futuro consiste na utilização do método FITradeoff também em plataformas de negociação. No escopo do processo global de negociação, existe a fase de pré-negociação, a qual é caracterizada pela elicitação de preferências dos negociadores com relação às questões de negociação envolvidas no processo. Na plataforma INSPIRE (KERSTEN & NORONHA, 1999), por exemplo, a elicitação de preferências é feita através da atribuição de scores arbitrários às questões de negociação, e não existe um processo estruturado para elicitar preferências. O FITradeoff poderia ser incorporado a plataformas de negociação com o objetivo de estruturar o processo de elicitação de preferências, e auxiliar na troca de ofertas a partir do ranking dos pacotes que seriam obtidos através do algoritmo de ordenação do FITradeoff.

REFERÊNCIAS

- AGUAYO, E. A.; MATEOS, A.; JIMÉNEZ, A. A new dominance intensity method to deal with ordinal information about a DM's preferences within MAVT. *Knowledge-Based Systems*, 69, 159-169, 2014.
- AHN, B. S.; PARK, K. S. Comparing methods for multiattribute decision making with ordinal weights. *Computers & Operations Research*, v. 35, n. 5, p. 1660-1670, 2008.
- AHN, B. S.; PARK, K. S.; HAN, C. H.; KIM, J. K. Multi-attribute decision aid under incomplete information and hierarchical structure. *European Journal of Operational Research*, 125(2), 431-439, 2000.
- ALMEIDA, J. A; FREJ, E. A; KANG, T. H. A; DE ALMEIDA, A. T. Heurísticas aplicadas ao método FITradeoff para reduzir número de perguntas do procedimento de elicitação de pesos. In: *XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)*, 2016. Vitória, XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 2016.
- ALMEIDA, J. A; FREJ, E. A; KANG, T. H. A; DE ALMEIDA, A. T. Análise dos resultados do método FITradeoff através de simulação. In: *XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO)*, 2016. Vitória, XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 2016.
- ÁLVAREZ-CARRILLO, P. A.; ROSELLI, L. R. P.; FREJ, E. A.; DE ALMEIDA A. T. Selecting an agricultural technology package based on the flexible and interactive tradeoff method. *Annals of Operations Research*. 1-16, 2018.
- ATHANASSOPOULOS, A. D.; PODINOVSKI, V. V. Dominance and potential optimality in multiple criteria decision analysis with imprecise information. *Journal of the Operational research Society*, v. 48, n. 2, p. 142-150, 2017.
- BANA E COSTA, C.A.; VANSNICK, J. MACBETH - An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International transactions in operational research*, 1(4): 489-500, 1994.
- BELTON, V.; STEWART, T. Multiple criteria decision analysis: an integrated approach. *Springer Science & Business Media*, 2002.

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

BORCHERDING, K.; EPPEL, T.; VON WINTERFELDT, D. Comparison of weighting judgments in multiattribute utility measurement. *Management Science*, v. 37, n. 12, p. 1603-1619, 1991.

DA SILVA, R. B.; J. M. M.; DA FONTE, M. I. S.; DE ALMEIDA, A. T. Seleção de Fornecedores de Equipamentos em Empresas de Pesquisa Agropecuária: Aplicação de Duas Abordagens MCDM/A a Cenários Distintos. In: *L Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 2018*. Rio de Janeiro, L Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 2018.

DANIELSON, M.; EKENBERG, L.; LARSSON, A.; RIABACKE, M. Weighting under ambiguous preferences and imprecise differences in a cardinal rank ordering process. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 7(sup1), 105-112, 2014.

DANIELSON, M.; EKENBERG, L. A robustness study of state-of-the-art surrogate weights for MCDM. *Group Decision and Negotiation*, 26(4), 677-691, 2017.

DAVIS, G. B.; OLSON, M. H. *Management information systems: conceptual foundations, structure, and development*. McGraw-Hill, Inc., 1984.

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

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

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

DE ALMEIDA, A. T.; ALMEIDA J. A.; FREJ, E.A.; MEDEIROS, C.P.; KRYM, E. M.; KANG, T. H. A. FITradeoff - Flexible and Interactive Tradeoff Elicitation Procedure for

Choice Additive Model v2 - Código FU-T1ENO-CF3e. 2016. Patente: Programa de Computador. Número do registro: BR5120160013257, data de registro: 16/08/2016, título: "FITradeoff - Flexible and Interactive Tradeoff Elicitation Procedure for Choice Additive Model v2 - Código FU-T1ENO-CF3e", Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A. Preference Modeling for Multi-criteria Group Decision Making/aiding with FITradeoff Method. In: *2018 INFORMS International Conference*. Taipei, 2018.

DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A. Multicriteria group decision using FITradeoff for Preference Elicitation. In: *INFORMS Annual Meeting, 2017*. Houston, 2017.

DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A.; FERREIRA, R. J. P. Decision Aid with Partial Information Using FITradeoff for Preference Elicitation. In: *21st Conference of the International Federation of Operational Research Societies, 2017*. Quebec City, 2017.

DE ALMEIDA, A. T.; MORAIS, D. C.; COSTA, A. P. C. S.; ALENCAR, L. H.; DAHER, S. F. D. *Decisão em grupo e negociação: métodos e aplicações*. São Paulo: Editora Atlas, 2012.

DE ALMEIDA, A.T.; RAMOS, F.S. *Gestão da informação na competitividade das organizações*. Pernambuco: UFPE, 2002.

DE ALMEIDA, A.T.; WACHOWICZ, T. Preference Analysis and Decision Support in Negotiations and Group Decisions. *Group Decision and Negotiation*, 26(4): 649-652, 2017.

DELL OVO, MARTA; FREJ, E. A.; OPPIO, A.; CAPOLONGO, S.; MORAIS, D. C.; DE ALMEIDA, A. T. FITradeoff Method for the Location of Healthcare Facilities Based on Multiple Stakeholders Preferences. *Lecture Notes in Business Information Processing*. 315ed.: pp. 97-112. Springer International Publishing, 2018.

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

DIAS, L. C.; CLÍMACO, J. N. Additive aggregation with variable interdependent parameters: The VIP analysis software. *Journal of the Operational Research Society*, 51(9), 1070-1082, 2000.

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

EUM, Y. S.; PARK, K. S.; KIM, S. H. Establishing dominance and potential optimality in multi-criteria analysis with imprecise weight and value. *Computers & Operations Research*, 28(5), 397-409, 2001.

FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Supplier selection in a food industry: an application with FITradeoff method. In: *24th International Conference on Multiple Criteria Decision Making - MCDM, 2017*. Ottawa, 2017a.

FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Flexible and Interactive DSS for Ranking Problematic. In: *21st Conference of the International Federation of Operational Research Societies - IFORS, 2017*. Quebec City, 2017b.

FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Ranking Alternatives With Partial Information Based On Flexible Interactive Tradeoff. In: *2017 INFORMS Annual Meeting*. Houston, 2017c.

FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Multicriteria Group Decision Model for Supplier Selection in a Food Industry. In: *International Conference on Group Decision and Negotiation - GDN, 2016*. Bellingham. Proceedings of GDN Conference of the INFORMS GDN Section. v. 1. pp. 60-62, 2016.

FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T., COSTA, A. P. C. S. Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. *Operational Research*, 2019. Doi: 10.1007/s12351-018-00444-2.

FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T.; MORAIS, D. C. Using FITradeoff for Supporting a Decision Process of a Multicriteria Decision Problem. In: *Multiple Criteria Decision Making and Aiding*. Springer, Cham. p. 257-280, 2019.

- FREJ, E. A.; ROSELLI, L. R. P.; ARAÚJO DE ALMEIDA, J.; DE ALMEIDA, A. T. A Multicriteria Decision Model for Supplier Selection in a Food Industry Based on FITradeoff Method. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017.
- GUSMÃO, A. P. H.; MEDEIROS, C. P. A model for selecting a strategic information system using the FITradeoff. *Mathematical Problems in Engineering*; ID 7850960. 2016.
- HAZEN, G. B. Partial information, dominance, and potential optimality in multiattribute utility theory. *Operations research*, 34(2), 296-310, 1986.
- JIMÉNEZ, A.; MATEOS, A.; SABIO, P. Dominance intensity measure within fuzzy weight oriented MAUT: An application. *Omega*, 41(2), 397-405, 2013.
- KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. *Decision analysis with multiple conflicting objectives*. Wiley & Sons, New York, 1976.
- KERSTEN, G. E.; NORONHA, S. J. WWW-based negotiation support: design, implementation, and use. *Decision Support Systems*, 25(2): 135-154, 1999.
- KIM, S. H.; AHN, B. S. Interactive group decision making procedure under incomplete information. *European Journal of Operational Research*, 116(3), 498-507, 1999.
- KIM, S. H.; HAN, C. H. Establishing dominance between alternatives with incomplete information in a hierarchically structured attribute tree. *European Journal of Operational Research*, 122(1), 79-90, 2000.
- KIRKWOOD, C.W.; CORNER, J.L. The effectiveness of partial information about attribute weights for ranking alternatives in multiattribute decision making. *Organizational behavior and human decision processes*, 54(3): 456-476, 1993.
- KIRKWOOD, C.W.; SARIN, R.K. Ranking with partial information: A method and an application. *Operations Research*, 33(1): 38-48, 1985.
- LI, J.; CHEN, Y.; YUE, C.; SONG, H. Dominance measuring-based approach for multi-attribute decision making with imprecise weights. *Journal of Information & Computational Science*, 9(12), 3305-3313, 2012.

LÓPEZ, J. C. L.; CARRILLO, P. A. Á.; CHAVIRA, D. A. G.; NORIEGA, J. J. S. A web-based group decision support system for multicriteria ranking problems. *Operational Research*, 17(2): 499-534, 2017.

MALAKOOTI, B. Ranking and screening multiple criteria alternatives with partial information and use of ordinal and cardinal strength of preferences. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 30(3): 355-368, 2000.

MÁRMOL, A.M.; PUERTO, J.; FERNÁNDEZ, F.R. Sequential incorporation of imprecise information in multiple criteria decision processes. *European Journal of Operational Research*, 137(1): 123-133, 2002.

MATEOS, A.; JIMÉNEZ-MARTÍN, A.; AGUAYO, E. A.; SABIO, P. Dominance intensity measuring methods in MCDM with ordinal relations regarding weights. *Knowledge-Based Systems*, 70, 26-32, 2014.

MONTIEL, L. V.; BICKEL, J. E. A generalized sampling approach for multilinear utility functions given partial preference information. *Decision Analysis*, v. 11, n. 3, p. 147-170, 2014.

MUSTAJOKI, J. Effects of imprecise weighting in hierarchical preference programming. *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH*, 218(1), 193-201, 2012.

MUSTAJOKI, J.; HÄMÄLÄINEN, R.P.; SALO, A. Decision support by interval SMART/SWING - incorporating imprecision in the SMART and SWING methods. *Decision Sciences*, 36(2): 317-339, 2005.

PARK, K. S. Mathematical programming models for characterizing dominance and potential optimality when multicriteria alternative values and weights are simultaneously incomplete. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics-part a: Systems and humans*, 34(5), 601-614, 2004.

PARK, K. S.; KIM, S. H. Tools for interactive multiattribute decision-making with incompletely identified information. *European Journal of Operational Research*, v. 98, n. 1, p. 111-123, 1997.

PARK, K. S.; KIM, S. H.; YOON, W. C. Establishing strict dominance between alternatives with special type of incomplete information. *European Journal of Operational Research*, 96(2), 398-406, 1997.

PERGHER, I.; FREJ, E. A.; ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T. A multi-attribute based FITradeoff tool for Workload control rules selection. In: *XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2017*. Blumenau. Anais do XLIX SBPO, 2017.

PUNKKA, A.; SALO, A. Preference programming with incomplete ordinal information. *European Journal of Operational Research*, 231(1), 141-150, 2013.

RODRIGUES, J. M. M.; KANG, T. H. A.; DE ALMEIDA, A. T. Seleção de Fornecedores de Equipamentos em Empresas de Pesquisa Agropecuária: Aplicação de Duas Abordagens MCDM/A a Cenários Distintos. In: *XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 2017*. Blumenau, XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), 2017.

ROSELLI, L. R. P.; DE ALMEIDA, A. T.; FREJ, E. A. Decision neuroscience for improving data visualization of decision support in the FITradeoff method. *Operational Research*, 2019. Doi: 10.1007/s12351-018-00445-1.

ROSELLI, L. R. P.; FREJ, E. A.; DE ALMEIDA, A. T. Neuroscience Experiment for Graphical Visualization in the FITradeoff Decision Support System. *Lecture Notes in Business Information Processing*. 315ed.: Springer International Publishing, p. 56-69, 2018.

ROY, B. Multicriteria Methodology for Decision Aiding. *Kluwer Academic Publishers*, 1996.

SAATY, T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980

SALO, A.A.; HÄMÄLÄINEN, R.P. Preference assessment by imprecise ratio statements. *Operations Research*, 40(6): 1053-1061, 1992.

SALO, A. A.; HÄMÄLÄINEN, R. P. Preference programming through approximate ratio comparisons. *European Journal of Operational Research*, 82(3), 458-475, 1995.

SALO, A. A.; HAMALAINEN, R. P. Preference ratios in multiattribute evaluation (PRIME)-elicitation and decision procedures under incomplete information. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 31(6): 533-545, 2001.

- SALO, A.; PUNKKA, A. Rank inclusion in criteria hierarchies. *European Journal of Operational Research*, 163(2): 338-356, 2005.
- SARABANDO, P.; DIAS, L. C. Multiattribute choice with ordinal information: A comparison of different decision rules. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 39(3), 545-554, 2009.
- SARABANDO, P.; DIAS, L. C. Simple procedures of choice in multicriteria problems without precise information about the alternatives' values. *Computers & Operations Research*, v. 37, n. 12, p. 2239-2247, 2010.
- SPRAGUE JR, R. H.; WATSON, H. J. DSS bibliography. *Decision Support Systems: Putting Theory into Practice*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 403-411, 1989.
- STILLWELL, W. G.; SEAVER, D. A.; EDWARDS, W. A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. *Organizational behavior and human performance*, v. 28, n. 1, p. 62-77, 1981.
- ULVILA, J. W.; SNIDER, W. D. Negotiation of international oil tanker standards: An application of multiattribute value theory. *Operations Research*, 28(1): 81-96. 1980.
- VON WINTERFELDT, D.; EDWARDS, W. *Decision analysis and behavioral research*, 1986.
- WEBER, M. Decision making with incomplete information. *European Journal of Operational Research*, 28(1): 44-57, 1987.
- WEBER, M.; BORCHERDING, K. Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making. *European Journal of Operational Research*, 67(1): 1-12, 1993.
- WHITE, C.C.; HOLLOWAY, H.A. Resolvability for imprecise multiattribute alternative selection. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 38(1): 162-169, 2008