

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**Modelo Multicritério para Seleção de Fornecedores e Análise da
Problemática de Ordenação com FITradeoff**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

Eduarda Asfora Frej

Orientador: Prof. Adiel Teixeira de Almeida, *PhD*

RECIFE, FEVEREIRO/2017

EDUARDA ASFORA FREJ

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE
FORNECEDORES E ANÁLISE DA PROBLEMÁTICA DE
ORDENAÇÃO COM FITRADEOFF**

Dissertação de Mestrado apresentada à UFPE para a obtenção de grau de Mestre como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (Área de Concentração: Pesquisa Operacional).

Orientador(a): Prof. Adiel Teixeira de Almeida, PhD

Recife

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicea Alves, CRB-4 / 1260

F863m Frej, Eduarda Asfora.

Modelo multicritério para seleção de fornecedores e análise da problemática de ordenação com fitradeoff / Eduarda Asfora Frej. - 2017.
58 folhas, Il. e Tabs.

Orientador: Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2017.
Inclui: Referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Seleção de Fornecedores. 3. FITradeof.
4. Problemática de ordenação. I. Almeida, Adiel Teixeira de (Orientador).
II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-99

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE**

EDUARDA ASFORA FREJ

**“MODELO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES
E ANÁLISE DA PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO COM
FITRADEOFF”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato EDUARDA ASFORA FREJ **APROVADO**.

Recife, 20 de Fevereiro de 2017.

Prof. Adiel Teixeira de Almeida, PhD (UFPE)

Profª. Ana Paula Cabral Seixas Costa, PhD (UFPE)

Prof. Nei Yoshiro Soma, PhD (ITA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Luciano e Patrícia, 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 namorado, às minhas irmãs, e à minha companheira de laboratório Takanni. Estes, de alguma forma particular, contribuíram para esta minha conquista pessoal e profissional.

Agradeço ao CNPq pelo suporte financeiro proporcionado para a elaboração desta pesquisa.

RESUMO

Este trabalho propõe, primeiramente, a construção de um modelo multicritério para um problema de seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos com base no procedimento das doze etapas proposto por de Almeida (2013). No contexto deste problema, será possível analisar as principais vantagens do método de elicitação de constantes de escala no modelo aditivo FITradeoff, através de uma abordagem comparativa com o procedimento de elicitação por tradeoff tradicional. Outra contribuição deste trabalho é apresentar um procedimento para o FITradeoff na problemática de ordenação $P\gamma$, pois em muitos problemas de decisão, a escolha de uma única alternativa não é suficiente, tornando necessária a construção de um ranking de todas elas. O procedimento é apresentado e aplicado a três problemas de seleção de fornecedores da literatura, onde é possível observar aspectos interessantes, como o fato de que o processo de elicitação pode ser encurtado através da modificação de parâmetros no modelo, além de, em alguns casos, observar-se que o FITradeoff permite ao decisor chegar a uma ordem completa das alternativas demandando o mínimo de esforço e tempo possível.

Palavras Chave: Seleção de Fornecedores. FITradeoff. Problemática de ordenação.

ABSTRACT

The first aim of this work is to present a multiple criteria decision model for a supplier selection problem in a food industry based on the twelve steps procedure proposed by de Almeida (2013). Through this application, it will be able to see the advantages of FITradeoff method for elicitation of scale constants in additive model, by comparing it with the traditional tradeoff procedure. Besides that, this work also presents a procedure for FITradeoff in ranking problematic, motivated by the fact that, in many decision problems, the choice of one alternative is not enough for the aim of the decision maker. The procedure is presented and applied in three cases of supplier selection problems published in the literature. Interest issues can be observed by these applications, such as the possibility to shorten the elicitation process by changing parameters of the model, and also in some cases it is possible to see that FITradeoff reaches a complete order of the alternatives with a minimum effort required from the decision maker.

Keywords: Supplier selection. FITradeoff. Ranking problematic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Consequências no procedimento de tradeoff (Adaptada de <i>de Almeida et al. 2016</i>).....	15
Figura 2.2 – Atividades logísticas na cadeia de suprimentos imediata da empresa (<i>Ballou, 2006</i>).....	17
Figura 3.1 – Procedimento para resolução de um problema de decisão (de <i>Almeida, 2013</i>).....	27
Figura 3.2 – Consequências no método FITradeoff (Adaptada de <i>de Almeida et al. 2016</i>).....	34
Figura 3.3 – Processo de elicitação do FITradeoff (Adaptada de <i>de Almeida et al., 2016</i>).....	36
Figura 3.4 – Gráfico comparativo das alternativas não dominadas após ordenação.....	37
Figura 3.5 – Espaço de pesos obtido ao final da elicitação.....	38
Figura 4.1 – Processo do FITradeoff na problemática de ordenação.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Matriz de decisão de um problema multicritério.....	13
Tabela 3.1 – Matriz de conseqüências do problema.....	29
Tabela 3.2 – Constantes de escala obtidas pelo procedimento de elicitacão por tradeoff.....	31
Tabela 3.3 – Resultado do ranking com os valores globais das alternativas.....	31
Tabela 4.1 – Matriz de conseqüências do problema de seleção de fornecedores de Barla (2003).....	43
Tabela 4.2 – Aplicação no problema de Barla (2003) com $\varepsilon = \varepsilon_1$	44
Tabela 4.3 – Aplicação no problema de Barla (2003) com $\varepsilon = \varepsilon_2$	45
Tabela 4.4 – Aplicação no problema de Barla (2003) com $\varepsilon = \varepsilon_3$	46
Tabela 4.5 – Matriz de conseqüências do problema de seleção de fornecedores de Xia & Wu (2007).....	47
Tabela 4.6 – Aplicação no problema de Xia & Wu (2007) com $\varepsilon = \varepsilon_1$	47
Tabela 4.7 – Aplicação no problema da seção 3 com $\varepsilon = \varepsilon_1$	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	JUSTIFICATIVA.....	10
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	11
1.2.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>11</i>
1.2.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>11</i>
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA.....	13
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1.1	<i>Decisão Multicritério.....</i>	<i>13</i>
2.1.2	<i>Sistema de Apoio a Decisão.....</i>	<i>16</i>
2.1.3	<i>Seleção de fornecedores no contexto da Cadeia de Suprimentos.....</i>	<i>16</i>
2.2	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.2.1	<i>Métodos de Decisão Multicritério com Informação Parcial.....</i>	<i>19</i>
2.2.2	<i>Seleção de Fornecedores com Métodos Multicritério.....</i>	<i>22</i>
3	MODELO DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES COM PROBLEMÁTICA DE ESCOLHA.....	25
3.1	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	25
3.2	MODELAGEM E ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA.....	27
3.3	ABORDAGEM ALTERNATIVA: ELICITAÇÃO FLEXÍVEL.....	32
3.3.1	<i>Método FITradeoff.....</i>	<i>33</i>
3.3.2	<i>Aplicação.....</i>	<i>37</i>
4	ANÁLISE DA PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO.....	40
4.1	ANÁLISE DO FITRADEOFF COM A PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO.....	40
4.2	APLICAÇÃO NA PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO.....	43
4.2.1	<i>Primeira aplicação: Barla (2003).....</i>	<i>43</i>
4.2.2	<i>Segunda aplicação: Xia & Wu (2007).....</i>	<i>47</i>
4.2.3	<i>Terceira aplicação: Seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos.....</i>	<i>48</i>
4.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	48
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	51
5.1	CONCLUSÕES.....	51
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	52
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A tomada de decisão pode ser considerada uma das principais atividades em níveis hierárquicos mais altos das organizações, sendo sempre uma forte razão de apreensão dos gerentes e executivos, visto que suas consequências impactam diretamente a competitividade das organizações e, conseqüentemente, sua existência futura (DE ALMEIDA, 2013). A presença de diferentes objetivos é inerente na grande maioria dos problemas de decisão enfrentados nas empresas. Assim, métodos multicritério de apoio a decisão podem ser aplicados para solucionar problemas onde múltiplos objetivos conflitantes estão presentes.

Os métodos multicritério que fazem parte do universo da informação completa ou exata exigem do decisor uma estrutura de preferências bem definida e estável, porém muitas vezes o decisor não é capaz de especificar suas preferências de forma tão detalhada quanto é requerido pela maioria dos métodos (WEBER, 1987). Esta foi e ainda é a principal motivação para o surgimento de métodos que utilizam informação parcial, incompleta ou imprecisa a respeito das preferências do decisor.

O método FITradeoff (Flexible Interactive Tradeoff), proposto por de Almeida *et al.* (2016), é um método multicritério de elicitación de constantes de escala no modelo aditivo que requer informação parcial a respeito das preferências do decisor, superando as principais desvantagens de outros procedimentos de elicitación baseados em informação completa. O processo de elicitación flexível é conduzido de maneira interativa junto ao decisor, apresentando uma ampla gama de aplicabilidade a problemas práticos.

Dentre os diversos problemas práticos enfrentados pelas organizações, está o problema de seleção de fornecedores. A escolha da fonte de suprimentos é uma das atividades mais críticas para as empresas, influenciando diretamente o desempenho das organizações, a qualidade dos produtos gerados, entre outros fatores de produção (JUNIOR, OSIRO & CARPINETTI, 2013). Apesar de em algumas situações ser tratado de forma equivocada levando em consideração apenas o preço, o problema de seleção de fornecedores é um problema multicritério, envolvendo objetivos quantitativos e qualitativos (XIA & WU, 2007).

O presente trabalho apresenta a construção de um modelo multicritério para um problema real de seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos, que é solucionado com o modelo aditivo para problemática de escolha. Primeiramente, a elicitación das constantes de escala é feita com o procedimento de Tradeoff tradicional (KEENEY &

RAIFFA, 1976). Em seguida, uma abordagem alternativa é apresentada com base no FITradeoff, e uma comparação entre os métodos é feita no contexto desta aplicação, onde podem ser observadas algumas vantagens da elicitación flexível.

Além disso, o presente trabalho também visa apresentar uma análise do FITradeoff para a problemática de ordenação ($P\gamma$), definida por Roy (1996). Muitas vezes, a escolha de uma única alternativa não é suficiente para um problema de decisão, sendo necessário ranqueá-las com base em seus desempenhos globais, de forma a obter-se uma ordem de todas elas. Daí surge a relevância da problemática de ordenação. Neste trabalho, é apresentado um algoritmo para o FITradeoff na problemática de ordenação, e é feita uma análise dos principais parâmetros envolvidos através da aplicação do método em três problemas de seleção de fornecedores. Por fim, discussões de possíveis limitações e proposição de melhorias também são feitas.

1.1 Justificativa

Decisões tomadas de forma errada ou equivocada nas empresas podem gerar impactos significativos nos mais diversos contextos. A tomada de decisão no dia-a-dia das pessoas e das empresas é freqüentemente feita de forma não-estruturada, sem um método adequado, e isto muitas vezes se dá pelo fato de que usar um método apropriado requer esforço e tempo por parte dos decisores.

A relevância do presente trabalho pode ser observada, primeiramente, no tratamento da tomada de decisão levando em consideração aspectos analíticos do problema e aspectos cognitivos do decisor. O método FITradeoff é inovador do ponto de vista que proporciona um apoio à tomada de decisão mais fácil, rápido, e que demanda menos esforço cognitivo comparado a métodos similares, mas que ao mesmo tempo apresenta uma forte estrutura axiomática. Portanto, a ferramenta contribui para a sociedade como um todo no sentido de facilitar o processo de tomada de decisão pessoal e organizacional, podendo ser aplicado aos mais variados setores, como empresas de manufatura, serviços, consultorias, ambiental, etc.

Em empresas de manufatura, por exemplo, o custo das matérias-primas, peças e componentes em geral representam mais da metade do custo de fabricação. Portanto, se a seleção das fontes de suprimento não for feita de forma adequada, levando em conta todos os múltiplos objetivos envolvidos e estruturado com um método adequado, a empresa pode sofrer sérias consequências relacionadas a diversos aspectos, como atraso na chegada do

material, problemas de qualidade nas matérias primas, excesso de estoque, entre outros, que irão prejudicar o funcionamento da cadeia de suprimentos e acarretar altos custos para a empresa, resultando em um significativo impacto econômico.

Desta forma, a construção de um modelo multicritério para um problema prático e real de seleção de fornecedores se mostra relevante no sentido de apoiar o processo decisório de uma organização de grande porte de forma estruturada. A análise das vantagens do método FITradeoff através da aplicação a este problema traz à tona a possibilidade de estender a aplicabilidade do método para outros tipos de problemática, a exemplo da problemática de ordenação, ampliando a gama de possíveis problemas no qual ele pode ser utilizado.

O FITradeoff apresenta um grande potencial para uso futuro nos mais diversos contextos, pois pode ajudar a contribuir para o fortalecimento na competitividade das organizações, estruturando a tomada de decisão de forma adequada ao mesmo tempo que facilita o processo por parte do decisor.

1.2 Objetivos do Trabalho

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar as vantagens do método FITradeoff através de uma aplicação a um problema real de seleção de fornecedores, e estender a idéia de elicitação flexível para a problemática de ordenação, apresentando um procedimento para o FITradeoff na problemática de ordenação e analisando diversas questões envolvidas.

1.2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um modelo multicritério para um problema de seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos, com base no procedimento de 12 etapas e refinamentos sucessivos proposto por de Almeida (2013);
- Comparar duas abordagens de elicitação de constantes de escala o modelo aditivo, através da aplicação de ambas ao problema de seleção de fornecedores citado acima;
- Estudar e analisar aspectos relacionados ao FITradeoff para a problemática de ordenação, através de aplicação em três problemas de seleção de fornecedores: Barla

(2003), Xia & Wu (2007) e o problema da indústria de alimentos descrito neste trabalho.

- Apontar questionamentos e melhorias que podem ser implementadas no algoritmo de ordenação apresentado.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em 5 capítulos a seguir:

O Capítulo I, a Introdução, apresenta as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho e os objetivos do estudo.

O Capítulo II apresenta uma fundamentação teórica dos temas de seleção de fornecedores no contexto da cadeia de suprimentos, decisão multicritério e sistemas de apoio a decisão. Uma revisão da literatura com o mapeamento do estado da arte sobre métodos multicritério que utilizam informação parcial e seleção de fornecedores com métodos multicritério também é apresentada neste capítulo.

O Capítulo III apresenta a construção de um modelo multicritério para um problema de seleção de fornecedores solucionado com base no procedimento de tradeoff no modelo aditivo, e também é apresentada uma abordagem alternativa com uso do método FITradeoff.

O Capítulo IV apresenta a análise do FITradeoff para problemática de ordenação, com aplicações e discussões.

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

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, será fornecida uma fundamentação teórica a respeito dos temas de decisão multicritério, sistema de apoio a decisão e seleção de fornecedores no contexto da cadeia de suprimentos, de acordo com as principais referências sobre os temas. Em seguida, será apresentado um mapeamento do estado da arte a respeito de modelagem de preferências com informação parcial e seleção de fornecedores com uso de métodos multicritério.

2.1 Fundamentação Teórica

A base conceitual utilizada para trabalho é apresentada a seguir e consiste em três tópicos que serão apresentados a seguir: Decisão Multicritério, Seleção de Fornecedores com Métodos Multicritério e Sistema de Apoio a Decisão.

2.1.1 Decisão Multicritério

Situações onde há ao menos duas alternativas de ação para serem escolhidas e múltiplos objetivos envolvidos – muitas vezes conflitantes –, caracterizam um problema de decisão multicritério (DE ALMEIDA, 2013). Além de alternativas e critérios, um problema de decisão multicritério também conta com a presença de um decisor, cujo julgamento de valores tem papel fundamental. As preferências do decisor são utilizadas, no processo decisório, em busca da obtenção da alternativa de ação que apresente o melhor compromisso entre os critérios.

A tabela 2.1 ilustra uma matriz de decisão, na qual se encontram as alternativas de decisão do problema e os critérios considerados.

Tabela 2.1 - Matriz de decisão de um problema multicritério

Alternativas	Critérios			
	C_1	C_2	C_m
a_1	$v_1(a_1)$	$v_2(a_1)$	$v_m(a_1)$
a_2	$v_1(a_2)$	$v_2(a_2)$	$v_m(a_2)$
.....
a_n	$v_1(a_n)$	$v_2(a_n)$	$v_m(a_n)$

Fonte: de Almeida (2013, p. 33)

Este trabalho baseia-se em uma abordagem multicritério específica: o modelo de agregação aditivo determinístico, que é um método de agregação a critério único de síntese. Sua natureza compensatória (DE ALMEIDA, 2013) permite que um pior desempenho de uma alternativa em um determinado critério seja compensado por um melhor desempenho em outro critério.

Solucionar um problema no modelo da tabela 2.1 com base no modelo aditivo requer o desenvolvimento de dois tipos de avaliação: intracritério e intercritério. A avaliação intracritério consiste em determinar um valor que representa a avaliação de cada alternativa i para cada critério j de acordo com as preferências do decisor, o que leva à função valor intracritério $v_j(a_i)$. Unidades diferentes representando os valores dos critérios traz a necessidade de normalizar estes valores, de forma que sejam redefinidos em uma escala de 0 a 1. Na avaliação intercritério, são definidos os valores das constantes de escala dos critérios, para posteriormente ser feita a agregação aditiva, conforme equação (2.1):

$$v(a) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(a) \quad (2.1)$$

Onde k_j é a constante de escala para o critério j normalizada, conforme equação 2.2:

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

Desta forma, a solução do problema é dada pela seleção da alternativa que apresenta o maior valor global $v(a)$.

A função de agregação aditiva pode também ser representada em função do vetor de consequências x de cada alternativa. Desta forma, pode-se avaliar as alternativas por meio por meio das consequências, conforme a equação (2.3):

$$v(x) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(x_j) \quad (2.3)$$

No contexto da teoria do valor multiatributo (MAVT), a determinação dos valores das constantes de escala dos critérios é uma das questões mais relevantes e complexas no processo de decisão (DE ALMEIDA *et al.*, 2016). Esta complexidade ocorre porque as constantes de escala não representam apenas o peso ou grau de importância dos critérios, mas envolve também um fator de escala relacionado aos valores das consequências. Portanto, para determinar os valores de k_j é necessário elicitare as preferências do decisor levando em consideração tradeoffs entre os valores das consequências, assim como faz o procedimento de elicitación por tradeoff (KEENEY & RAIFFA, 1976).

O procedimento de elicitación baseado em tradeoffs é o mais robusto axiomáticamente, e também permite a incorporação de uma função valor intracritério não linear, ao contrário da

maioria dos outros procedimentos utilizados, por isso mostra-se vantajoso em relação aos demais.

Este procedimento permite que sejam feitas comparações entre várias consequências apresentadas ao decisor a partir de visões de tradeoff. Estas consequências representam a melhor a pior performance (b_j e w_j , respectivamente) para o critério j , enquanto a performance intermediária é representada por x_j , atendendo à relação de preferência $b_j \succ x_j \succ w_j$. Por definição, será considerado que o valor da melhor consequência do critério i $v(b_i)$ é igual a 1 e o valor da pior consequência $v(w_i)$ é igual a 0.

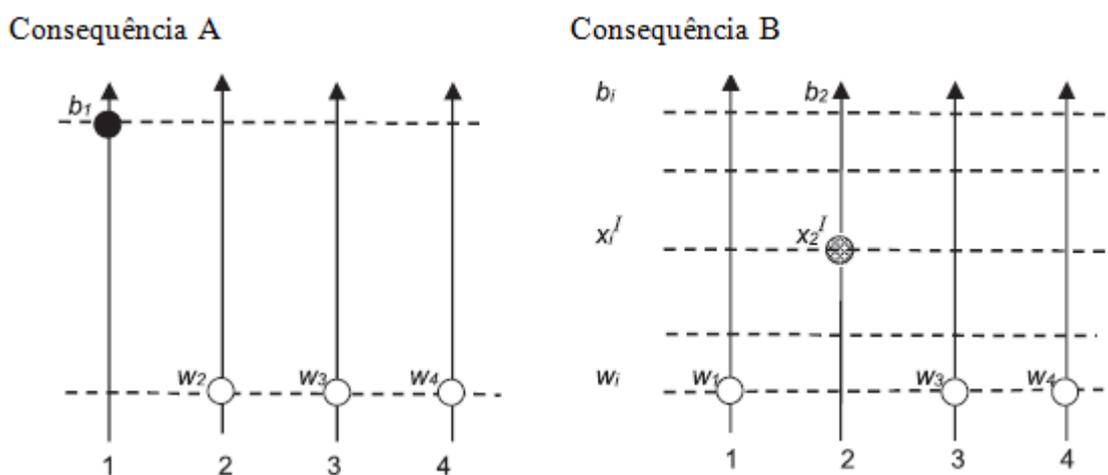


Figura 2.1– Consequências no procedimento de tradeoff (Adaptada de de Almeida et al. 2016)

Na figura 2.1 acima, a consequência A apresenta a pior performance para os critérios 2, 3 e 4 e a melhor performance para o critério 1, tal que o valor de A de acordo com a equação 2.3 é $v(A) = k_1$. A consequência B apresenta a pior performance para os critérios 1, 3 e 4 e uma performance intermediária para o critério 2, portanto $v(B) = k_2 v(x_2^I)$. No procedimento de tradeoff, o decisor compara consequências, buscando chegar a um valor de x_2^I que torna a consequência B indiferente à consequência A, de forma que o valor global de A seja igual ao valor de B, obtendo-se a relação $k_1 = k_2 v(x_2^I)$. Com pelo menos $n-1$ equações deste tipo mais a equação de normalização dos pesos (2.2), é possível chegar a um sistema de equações e obter o valor das constantes de escala dos critérios.

2.1.2 Sistema de Apoio a Decisão

Um sistema de informação é um tipo de sistema, com entradas, processamento e saída, cujas entradas e saídas são dados ou informações (DE ALMEIDA & RAMOS, 2002). As entradas são dados e informações que serão manipulados para atingir os objetivos do sistema; o processamento consiste no mecanismo de transformação dos dados de entrada, através de cálculos, comparações e armazenamento; a saída consiste em dados e informações processadas, normalmente na forma de consultas e relatórios.

O papel dos sistemas de informação nas organizações é fundamental, pois é enorme o impacto deles na estratégia corporativa e no sucesso das empresas (DE ALMEIDA & RAMOS, 2002), já que estes disponibilizam com maior precisão e agilidade a informação, que é um bem cada vez mais precioso nas organizações.

Dentre os tipos de sistema de informação existentes (SPRAGUE & WATSON, 1989), destaca-se aqui o Sistema de Apoio a Decisão (SAD), pois o presente trabalho apresentará um sistema deste tipo. Um SAD é um sistema de informação utilizado para dar suporte a um tomador de decisão de qualquer nível, face a problemas semi-estruturados e não estruturados (DAVIS, 1985).

É possível encontrar Sistemas de Apoio a Decisão baseados em dados, baseados em análise de informações e baseados em modelos (BIDGOLI, 1989). Sistemas baseados em dados procuram realizar comparações entre dados atuais, os dados passados e os dados que se queira alcançar. Sistemas baseados em análise de informação utilizam base de dados para orientar a decisão e pequenos modelos. O interesse particular deste trabalho se encontra nos sistemas baseados em modelos, os quais utilizam relações e fórmulas já definidas. Em particular, o sistema de apoio a decisão apresentado neste trabalho será baseado em um modelo de sugestão (DE ALMEIDA & RAMOS, 2002), o qual fornece uma decisão específica, baseada em um determinado modelo.

2.1.3 Seleção de fornecedores no contexto da Cadeia de Suprimentos

Por gerenciamento da cadeia de suprimentos entende-se a integração de todas as atividades relacionadas ao fluxo e transformação de mercadorias, desde o estágio da matéria prima até o usuário final, com o objetivo de obter vantagem competitiva sustentável para a empresa (BOWERSOX, COOPER & CLOSS, 2006). De acordo com Ballou (2006), a gestão

da cadeia de suprimentos consiste na colaboração entre empresas, visando impulsionar um posicionamento estratégico e melhorar a eficiência operacional de forma geral.

O gerenciamento da cadeia de suprimentos pode ser mais abrangente do que a logística empresarial. Apesar de ambas possuírem a mesma missão - colocar os produtos certos, no lugar certo, no momento certo, e nas condições desejadas, dando a maior contribuição possível para a empresa (BALLOU, 2006) - o gerenciamento da cadeia de suprimentos ainda engloba atividades como precificação e qualidade, enquanto a logística empresarial se limita apenas ao escopo da empresa, sendo responsável pelo abastecimento físico e distribuição física dos itens, como pode ser visto na figura 2.2.

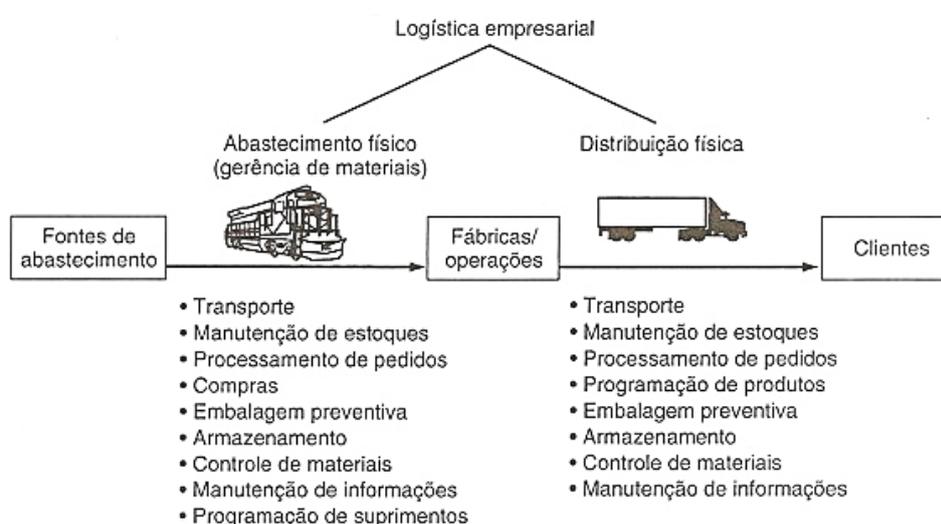


Figura 2.2- Atividades logísticas na cadeia de suprimentos imediata da empresa

Fonte: Ballou (2006, p. 31)

A figura 2.2 mostra que ambas as atividades de abastecimento físico e distribuição física englobam transporte, manutenção de estoques, processamento de pedidos, embalagem preventiva, armazenamento, controle de materiais e a manutenção de informações. O abastecimento físico, entretanto, é responsável também pelas atividades de compras e programação de suprimentos, as quais englobam decisões relacionadas à seleção da fonte de suprimentos, momento da compra e quantidade de compras.

A função de compras é responsável pela união da empresa junto a seus fornecedores (SLACK, CHAMBERS & JOHNSTON, 2002). A função de compras estabelece contratos com os fornecedores para adquirir materiais e serviços, dos quais alguns são diretamente

utilizados na produção de bens e serviços e outros são itens indiretos, utilizados para auxiliar a empresa a operar. Os gerentes de compras fazem uma ligação crucial entre a empresa e seus fornecedores. Portanto, para serem eficazes, precisam compreender tanto as necessidades dos processos da empresa como também as capacitações dos potenciais fornecedores.

O processo de seleção de fornecedores nas empresas, de uma forma geral, inicia-se pela identificação dos produtos ou serviços que a empresa deseja comprar (SLACK, CHAMBERS & JOHNSTON, 2002). O setor de compras mantém uma base extensa com dados de fornecedores potenciais, e prepara uma requisição formal para que cada um deles forneça suas cotações para a empresa, e então estas cotações são examinadas, e um fornecedor preferencial é selecionado.

Em muitas situações, este processo tradicional de cotação para seleção de fornecedores leva em consideração apenas o preço de compra dos itens. Esta visão não é eficaz do ponto de vista estratégico da cadeia de suprimentos, a qual visa a minimização do custo total da propriedade. Este custo total é composto pelo preço de compra do item, custo do serviço – transporte de manuseio, entrega, etc. –, e custo do ciclo de vida – despesas administrativas, negociações, produtos defeituosos, etc.

Apesar da variedade de compras que uma empresa realiza, os cinco objetivos de desempenho da produção devem sempre ser levados em consideração nas atividades de compras (SLACK, CHAMBERS & JOHNSTON, 2002). Com relação à qualidade, os fornecedores têm sido cobrados a garantir que assumem eles próprios a responsabilidade de fornecer “correto de primeira vez”. A rapidez é essencial em ambientes onde a concorrência é baseada em uma resposta rápida ou a demanda é incerta, portanto um dos objetivos principais de compras deve ser garantir que os seus fornecedores consigam oferecer resposta rápida. A credibilidade do fornecedor também é crucial no que tange a pontualidade das entregas e a acuracidade das quantidades entregues. Flexibilidade é necessária em termos de mudança de especificação, tempo ou quantidade. E, por fim, o preço também é essencial, visto que uma pequena redução dos custos de produção pode levar a aumentos significativos de lucro para a empresa.

Em detrimento da multidisciplinaridade do problema de seleção de fornecedores, como mostrado acima, muitas vezes é conveniente utilizar métodos multicritério para apoiar decisões no processo de seleção de fornecedores nas empresas.

2.2 Revisão da literatura

Nesta seção, será apresentado um mapeamento do estado da arte a respeito de métodos de decisão multicritério que utilizam informação parcial a respeito das preferências do decisor, classificação esta onde o método FITradeoff, que é crucial neste trabalho, se encontra. Em seguida, uma revisão da literatura a respeito de problemas de seleção de fornecedores com métodos multicritério será apresentada.

2.2.1 Métodos de Decisão Multicritério com Informação Parcial

Modelos baseados na teoria do valor multiatributo (MAVT), assumem, implicitamente, que os decisores têm preferências bem definidas, e, não importa como os pesos sejam elicitados ou de que forma os atributos são descritos, o decisor utiliza, em teoria, suas preferências bem definidas e estáveis para responder às perguntas feitas no processo de elicitação (WEBER & BORCHERDING, 1993). Na prática, a elicitação de pesos pode ser difícil, devido à urgência da decisão, falta de recursos disponíveis, ou dificuldades conceituais a respeito da interpretação de objetivos intangíveis (SALO & PUNKKA, 2005).

Outras dificuldades relacionadas ao processo de elicitação podem, ainda, surgir relacionadas à quantidade e ao tipo de informação requerida por parte do decisor. O mundo da informação completa – ou exata – abrange um dado conjunto de alternativas, um conjunto de critérios e um ou mais decisores com uma estrutura de preferências bem estabelecida, porém o decisor nem sempre é capaz de especificar suas preferências no nível de detalhe requerido (WEBER, 1987). De acordo com Salo & Hamalainen (1992), a principal desvantagem dos métodos de elicitação tradicionais com informação completa e exata é que a informação requerida pelo decisor pode ser tediosa e consumir muito tempo, questão esta também enfatizada por Kirkwood & Sarin, (1985) e Kirkwood & Corner (1993). Além disso, o decisor pode não estar disposto ou ser incapaz de fornecer as informações necessárias para elicitar constantes de escala (BELTON & STEWART, 2002), então, para estas situações, o ideal é desenvolver procedimentos para estimação da função valor a partir a partir de informação fraca e menos precisa do que aqueles que utilizam informação completa do decisor.

Abordagens utilizando informação parcial foram motivadas principalmente por estas questões. Situações de decisão com informação incompleta (ou parcial) são caracterizadas por um decisor sem uma estrutura de preferências precisamente definida, que não consegue fornecer estimativas exatas de distribuições de probabilidades ou por uma avaliação inexata

das conseqüências, pois eles não são capazes de especificar as preferências no nível de detalhe requerido pelos métodos tradicionais (WEBER, 1987). Na literatura, há uma vasta gama de métodos que consideram informação parcial para elicitación das constantes de escala no modelo aditivo, grande parte deles com base no procedimento de *swing*, proposto por von Winterfeldt & Edwards (1986).

Salo & Hamalainen (1992) propuseram o método PAIRS (*Preference Assessment by Imprecise Ratio Statements*), o qual permite que os decisores especifiquem julgamentos a respeito de intervalos para as constantes de escala dos critérios, ao invés de especificar valores exatos, e esta informação imprecisa permite que sejam encontradas relações de dominância através de problemas de programação linear. É um processo iterativo, onde a solução pode ser encontrada antes do decisor especificar todos os julgamentos entre os pares. O método PAIRS é particularmente adequado para apoio a problemas de tomada de decisão em grupo, pois visões diferentes podem ser capturadas através de intervalos agregados com julgamentos individuais (HAMALAINEN, SALO & POYSTI, 1992).

Os mesmos autores desenvolveram também o método PRIME (*Preference Ratios in Multiattribute Evaluation*), o qual difere de outros métodos aditivos como AHP, SMART e PAIRS por três razões principais (SALO & HAMALAINEN, 2001): primeiro, as comparações feitas através de razões são explicitamente ligadas aos valores das alternativas nos atributos, o que evita o problema relacionado à noção vaga de pesos apenas como relativa importância do critério; segundo, o PRIME é capaz de lidar com julgamento de preferências de forma holística, no qual as conseqüências são comparadas com respeito a atributos em qualquer nível hierárquico da árvore de valor; terceiro, as recomendações de decisão no método PRIME são complementadas por informação sobre uma possível perda de valor associada a estas recomendações. Por outro lado, o PRIME se assemelha ao PAIRS no sentido que (SALO & HAMALAINEN, 2001): fornece informação sobre relações de dominância; preserva a consistência do modelo, mostrando as implicações das declarações que o decisor já fez nas informações que ainda serão elicitadas; e também é adequado para problemas de decisão em grupo, pois os intervalos podem ser interpretados como limites inferiores e superiores dos pontos de vista dos membros do grupo. O PRIME visa alcançar um equilíbrio entre a solidez teórica do método Tradeoff e a funcionalidade dos julgamentos através de razão (SALO & HAMALAINEN, 2001).

Argumentando que nem sempre é necessário obter informação completa a respeito de pesos de critérios para produzir uma recomendação de decisão, Salo e Punkka (2005) propuseram o método RICH (*Rank Inclusion in Criteria Hierarchies*), o qual permite ao decisor lidar com informação incompleta, especificando o subconjunto de critérios que contém o critério mais importante, e as recomendações de decisão são obtidas através de relações de dominância e regras de decisão.

Mármon, Puerto & Fernández (2002) sugerem uma abordagem na qual o decisor fornece informações de forma seqüencial; uma vez que ele sabe o efeito que a última informação fornecida causou no conjunto de alternativas, ele aprende mais sobre o processo de decisão e informações mais específicas podem ser fornecidas. Desta forma, o decisor aprende e desenvolve as informações sobre suas preferências durante o processo de modelagem e, caso alguma informação fornecida seja inconsistente com as informações anteriores, o decisor deverá reconsiderar suas preferências (MÁRMON, PUERTO & FERNÁNDEZ, 2002).

Julgamentos imprecisos de preferências em forma de intervalo foram incorporados no método SMART/SWING por Mustajoki, Hamalainen & Salo (2005). O Interval SMART/SWING difere do método SMART tradicional por permitir que o decisor especifique de um atributo de referência qualquer - sem necessariamente ser o atributo mais ou menos importante -, e também por permitir que o decisor especifique um intervalo para comparar um atributo qualquer ao atributo de referência, e não um número exato.

O método MACBETH (BANA E COSTA & VASNICK, 1994) é baseado em julgamentos do decisor a respeito de diferenças de atratividade entre alternativas e/ou critérios, baseado em uma escala semântica proposta pelos autores, composta de seis classes. Estas informações qualitativas a respeito de diferença de atratividade são requeridas para efetuar as avaliações intra e intercritério. Na avaliação intracritério, o decisor faz comparações par a par entre as alternativas, para cada critério, julgando a diferença de atratividade entre as elas de forma qualitativa; já na avaliação intercritério, o decisor julga qualitativamente as diferenças de atratividade par a par entre os critérios. Os autores sugerem que julgamentos qualitativos são mais fáceis para o decisor do que especificar valores, como fazem outros métodos, a exemplo do AHP (SAATY, 1980). Estes julgamentos qualitativos são colocados como restrição para os problemas de programação linear, que buscam encontrar um resultado consistente satisfazendo as restrições do modelo.

White III & Holloway (2008) criaram uma abordagem para guiar o facilitador ou analista no processo de perguntas e respostas do novo método ISMAUT (Imprecisely Specified MAUT), que, ao contrário do que ocorre em MAUT, permite a avaliação de pesos e das funções-valor como um conjunto finito de inequações lineares. A proposta auxilia o facilitador a saber qual a próxima pergunta a ser feita e determinar quando termina o processo. O problema de seleção de perguntas feitas pelo facilitador é modelado como um processo de Markov, e os autores apresentam condições que garantem a existência de uma política de perguntas e respostas para identificar a alternativa mais preferível com um número finito de perguntas.

Como dito anteriormente, a maioria destes métodos de informação parcial utiliza o procedimento de swing para estruturar a elicitación, enquanto alguns o fazem também de forma não estruturada, requerendo julgamentos arbitrários por parte do decisor. Outro método utilizado para elicitación de constantes de escala no modelo aditivo é o procedimento de tradeoff (KEENEY & RAIFFA, 1976), o qual apresenta uma forte estrutura axiomática (WEBER & BORCHERDING, 1993), mas em contrapartida é pouco utilizado pelo fato de que faz perguntas difíceis para o decisor, que exigem um alto esforço cognitivo, e conseqüentemente resulta em uma alta taxa de inconsistências - cerca de 67% de inconsistências reportadas por estudos comportamentais (WEBER & BORCHERDING, 1993). Devido a estas limitações do método tradeoff tradicional, um novo método de elicitación interativo e flexível baseado em tradeoffs foi proposto por de Almeida *et al.* (2016). O chamado FITradeoff é um procedimento de elicitación que requer informação parcial por parte do decisor e preserva a estrutura axiomática do tradeoff, porém exige um menor esforço cognitivo, o que leva, conseqüentemente, a uma menor taxa de inconsistências (DE ALMEIDA *et al.*, 2016).

2.2.2 Seleção de Fornecedores com Métodos Multicritério

A seleção de fornecedores, em muitas situações, leva em consideração apenas fatores relacionados a custo, porém algumas empresas já entenderam que esta visão é ineficiente e passível de mudança, visto que há vários outros fatores que devem ser levados em consideração (PARATHIBAN, ZUBAR & KATAKAR, 2013).

De acordo com Alencar & de Almeida (2011), a tendência das organizações hoje é tentar manter uma relação de longo prazo com os seus fornecedores, baseada em confiança e

comprometimento, e, para alcançar este objetivo, é necessário reestruturar o processo de seleção de fornecedores tradicional, incorporando diferentes critérios na avaliação.

Pelo menos vinte e três critérios que podem ser levados em consideração quando se trata de problemas de seleção de fornecedores foram identificados por Weber & Current (1993). Segundo Faria & Vanalle (2006), entretanto, os critérios mais frequentemente utilizados pelas empresas no momento da seleção dos seus fornecedores são: preço, qualidade, desempenhos das entregas, flexibilidade, análise financeira dos concorrentes, análise dos critérios administrativos, análise de competências sociais e aspectos relativos à segurança e meio ambiente.

Neste contexto, há diversos trabalhos na literatura tratam a problemática de seleção de fornecedores como um problema multicritério, a exemplo de Alencar & de Almeida (2008), que aplicaram a decisão multicritério ao contexto de seleção de fornecedores em gerenciamento de projetos, em um problema de decisão em grupo.

Awasthi, Chauhan & Goyal (2010) apresentaram uma abordagem de decisão multicritério para avaliação da performance ambiental de fornecedores com informação parcial, utilizando o método TOPSIS. Alencar & de Almeida (2011) apresentaram uma estrutura para seleção de fornecedores que considera preferências de vários decisores envolvidos no processo, com base no método multicritério PROMETHEE VI. Gonçalo & Alencar (2014) também propuseram um modelo multicritério de suporte à decisão para seleção de fornecedores, composto de duas fases: a análise dos produtos/serviços dos fornecedores que precisavam ser avaliados utilizando o método PROMSORT, e a análise dos fornecedores cujos produtos/serviços são considerados cruciais, utilizando o PROMETHEE II. Os diferentes objetivos relacionados ao problema da seleção da fonte de suprimentos envolvem tradeoffs e são questões chave no processo, uma vez que mensuram a performance de cada fornecedor. Entretanto, a importância de cada critério pode variar de um caso para outro, ou de uma empresa para outra, e o problema de seleção de fornecedores torna-se ainda mais complexo pelo fato de que alguns critérios são quantitativos e outros qualitativos (ZEYDAN, ÇOPLAN & ÇOBANOGLU, 2011).

No presente trabalho, o modelo multicritério de agregação aditivo será utilizado para solucionar um problema de seleção de fornecedores, com elicitación de preferências por meio de tradeoffs. Na prática, este processo de agregação é o mais comumente encontrado em um modelo de decisão multicritério (SPLIET & TERVONEN, 2014), e pesquisas recentes

consideram a elicitación dos pesos dos critérios como uma questão central no processo decisório (RIABACKE, DANIELSON & EKENBERG, 2012).

3 MODELO DE DECISÃO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES COM PROBLEMÁTICA DE ESCOLHA

Neste capítulo, será apresentado um modelo multicritério para seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos, no contexto da problemática de escolha. A seção 3.1 descreve o contexto do problema e a empresa estudada. A seção 3.2 descreve como o modelo foi estruturado e as etapas da resolução do problema, com base no framework apresentado por de Almeida (2013). A seção 3.3 apresenta uma abordagem alternativa para a resolução do problema, bem como uma comparação entre os métodos utilizados.

3.1 Descrição do problema

A decisão de selecionar fornecedores de matérias primas e materiais de embalagem não é uma tarefa simples dentro das empresas, principalmente tratando-se de companhias de grande porte. Segundo Bowersox, Cooper & Closs (2006), a gestão da cadeia de suprimentos consiste na colaboração entre empresas, impulsionando o posicionamento estratégico e melhorando a eficiência operacional. Os mesmo autores afirmam, ainda, que as operações da cadeia de suprimentos exigem processos gerenciais que atravessam as áreas funcionais dentro da empresa e conectam fornecedores, parceiros comerciais e clientes através das fronteiras organizacionais existentes. Assim, os fornecedores são peças-chave para o sucesso estratégico e operacional da empresa, e uma falha no processo de tomada de decisão neste caso pode causar um efeito dominó por toda a cadeia de suprimentos e acabar prejudicando, consequentemente, a performance da empresa em si.

A empresa cujo problema é estudado aqui é uma multinacional do setor de snacks, fundada em 1923 na cidade de Chicago, e que hoje é uma das maiores empresas de snacks do mundo. Sua operação no Brasil é a quarta maior operação da empresa no mundo, composta por cerca de 13.000 funcionários e 17 sites, dentre fábricas, escritórios e centros de distribuição. Suas plantas industriais estão alocadas em três estados brasileiros: São Paulo, Paraná e Pernambuco.

O problema tratado aqui foi feito com dados da planta de Pernambuco, situada em Vitória de Santo Antão desde 2011. A fábrica conta com 1.500 colaboradores, considerando funcionários próprios e terceirizados, distribuídos em diversos setores, tais como logística, operações, compras, planejamento, finanças, entre outros. Operam, na planta de Vitória de

Santo Antão, quatro linhas de produção, fabricando cinco marcas comercializadas em todo país, e, dentre elas, uma marca global da companhia.

As principais matérias primas utilizadas na produção desta planta são commodities em geral (farinhas, gorduras e açúcar) e agregados (corantes, aromas, enzimas, etc.). Com relação às embalagens, os itens são divididos em flexíveis (envoltórios), corrugados (caixas), bandejas, etiquetas e fitilho.

Com relação aos itens de matérias primas, a maioria dos fornecedores são empresas locais, situadas em Pernambuco ou em outro estado do Nordeste, o que simplifica bastante o problema de seleção de fornecedores, pois em caso de algum tipo de problema na entrega por parte de um fornecedor, a empresa facilmente consegue acionar outros fornecedores para agir como um back-up. Dentre os itens de embalagem, entretanto, os envoltórios são itens mais críticos, pois todos os potenciais fornecedores situam-se nas regiões Sul e Sudeste do país. Além disso, estes itens têm um processo produtivo mais delicado e suscetível a erros do que as caixas, bandejas, etiquetas e fitilhos. São também materiais de alto custo, sendo necessário, portanto, um fornecimento contínuo destes itens na planta, para que o valor do estoque de materiais – que representa capital empatado da empresa – não chegue a níveis tão elevados. Levando em conta estes aspectos, o problema tratado aqui será a seleção de um fornecedor de envoltório para o lançamento de um novo produto da fábrica referida. Trata-se de um problema onde há cinco alternativas de fornecedores potenciais que já forneceram ou fornecem algum material para a fábrica.

Uma abordagem comumente utilizada pelas empresas para selecionar fornecedores é fazer uma cotação dos preços por kg de envoltório fornecido de cada fornecedor, e então escolher o que oferecer o menor preço, visando minimizar custos. Foi visto no capítulo 2, entretanto, que outros aspectos também devem ser considerados neste tipo de tomada de decisão, pois qualquer problema relacionado ao fornecedor – seja com relação à qualidade da matéria prima, ao prazo de entrega, à quantidade entregue, entre outros – pode incorrer em transtornos diversos na operação, que acarretam em outros custos indiretos à empresa, de forma que não compensa escolher simplesmente pelo menor preço.

Tendo em vista estes aspectos, a problemática abordada aqui será tratada como um problema de decisão multicritério, onde os objetivos a serem atendidos serão detalhados na seção 3.2. Tratando-se de um problema de decisão multicritério, a questão é avaliar os

múltiplos objetivos em questão de forma integrada, objetivos estes representados por variáveis, muitas vezes em unidades de medidas diferentes (DE ALMEIDA, 2013).

3.2 Modelagem e estruturação do problema

Para solucionar o problema de seleção de fornecedores descrito acima, foi construído um modelo multicritério de apoio à decisão baseado no procedimento de 12 etapas (DE ALMEIDA, 2013; DE ALMEIDA *et al.*, 2015), ilustrado na figura 3.1 abaixo.

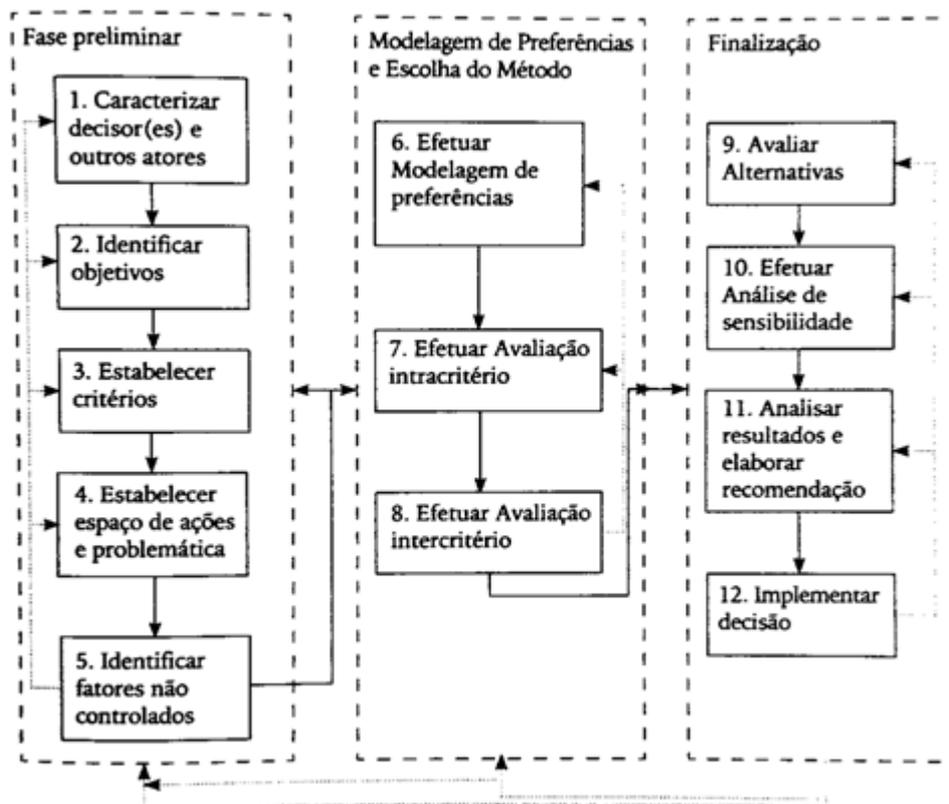


Figura 3.1—Procedimento para resolução de um problema de decisão

Fonte: de Almeida (2013, p. 165)

A primeira etapa consiste na caracterização do(s) decisor(es) e outros atores. Neste caso, o decisor é o gerente do setor de compras da empresa, que é responsável pelo processo de seleção de fornecedores. Apesar de ser um caso de decisão individual, outros atores influenciam no processo decisório, a exemplo dos analistas das áreas de planejamento, logística e qualidade, que podem ser considerados como especialistas no contexto do processo decisório, pois têm informações factuais sobre o problema em análise. Eles conhecem bem o ambiente, e conseguem avaliar a performance dos fornecedores candidatos em termos de

diversos aspectos, como pontualidade, acuracidade da quantidade, frete, avarias encontradas no material, etc.

A segunda etapa é identificar os objetivos. O objetivo fundamental deste problema é maximizar a margem de lucro da empresa. Para atingir este objetivo fim principal, diversos objetivos meio podem ser considerados, como a redução de custos com a compra de materiais, redução de custos diretos e indiretos com frete, redução de custos de possíveis paradas na linha de produção devido ao atraso do recebimento de material, otimização da eficiência da linha de produção e evitando perdas e retrabalhos advindos de problemas de qualidade das matérias primas, redução do nível de inventário de materiais entre outros.

O terceiro passo consiste no estabelecimento de critérios, que devem representar os objetivos explicitados acima. Sete critérios foram considerados relevantes para o problema em questão, são estes:

1. **Preço:** é o valor pago em reais por cada kg de envoltório comprado. É um critério fundamental, pois um preço baixo na compra dos insumos torna menor o custo do produto, possibilitando a empresa a aumentar a margem de lucro daquele produto ou então diminuir seu preço de mercado, ganhando vantagem competitiva em relação a seus concorrentes.
2. **Frete:** está relacionado à confiabilidade do frete, dependendo de seu tipo. Se o frete é do tipo FOB (Free on Board), o comprador é o responsável por todos os riscos e custos envolvidos na compra, e então é mais confiável, pois o caminhão é da própria empresa que compra, então é possível fazer o rastreamento do veículo com o material. No caso do frete tipo CIF (Cost, Insurance and Freight), é o vendedor quem assume todos os custos e riscos, mas a rastreabilidade dos veículos nem sempre é possível, pois muitas vezes os fornecedores terceirizam seu transporte, e então não possuem rastreio das mercadorias, deixando os clientes sem informação a respeito do pedido, causando insatisfação. As conseqüências são representadas variando de 0 a 1, onde 1 indica que o frete é muito confiável, e 0 muito pouco confiável.
3. **Acuracidade:** representa a taxa de pedidos que foram entregues na quantidade correta, ou seja, nem a mais e nem a menos do que consta na ordem de compra.
4. **Pontualidade:** indica a taxa de pedidos que foram entregues na data certa, ou seja, nem antes e nem depois da data que consta na ordem de compra.
5. **Qualidade:** indica a taxa de pedidos entregues sem avarias no material.

6. **Lead time:** É o tempo decorrido desde o dia da emissão da ordem de compra até a data de entrega do material na fábrica. Quanto menor o lead time, melhor para o comprador.
7. **Flexibilidade:** está relacionada à capacidade de resposta do fornecedor em casos de solicitação de mudanças na quantidade do pedido de compra e mudança de prazo, ou até cancelamento de um pedido. As conseqüências estão em uma escala verbal variando de 1 a 5, onde 1 significa que o fornecedor é pouco flexível e 5 significa muito flexível.

Na etapa 4 são estabelecidos o espaço de ações e a problemática. O conjunto de alternativas do problema é discreto, composto por 5 fornecedores potenciais, chamados hipoteticamente de Fornecedor 1, 2, 3, 4 e 5. O tipo de problemática é P. α de acordo com a classificação apresentada por Almeida (2013), pois trata-se de um problema de escolha de um fornecedor no ambiente de várias alternativas. As alternativas são os fornecedores que fazem parte da cadeia de suprimentos da empresa através do fornecimento de outros materiais de embalagem na planta.

A tabela 3.1 apresenta a matriz de conseqüências do problema:

Tabela 3.1- Matriz de conseqüências do problema

	Preço (R\$)	Frete	Acuracidade (%)	Pontualidade (%)	Qualidade (%)	Lead Time (Dias)	Flexibilidade
Fornecedor 1	17,44	1	0,9	0,9	1	45	2
Fornecedor 2	16,43	1	0,9	1	1	45	1
Fornecedor 3	14,38	0,5	0,8	0,8	0,8	45	3
Fornecedor 4	20,69	0,7	1	0,95	0,75	63	5
Fornecedor 5	20,69	1	1	1	0,5	45	4

Fonte: Esta pesquisa.

A etapa 5 consiste na identificação de fatores não controlados, o que não é o caso neste problema, pois as variáveis do são de natureza determinística, portanto não há possíveis estados da natureza que influenciam os valores das conseqüências em questão.

Na etapa 6 deve ser definida a estrutura de preferências mais adequada para representar as preferências do decisor, que neste caso é a estrutura (P, I), pois o decisor consegue identificar relações de preferência e indiferença entre os pares de conseqüências. Assumiu-se que todas as alternativas podem ser comparadas entre si, não havendo, portanto, presença de incomparabilidade. As propriedades de ordenabilidade e transitividade também são verificadas. A racionalidade mais adequada para o decisor, neste caso, é a compensatória, pois um pior desempenho em preço, por exemplo, pode ser compensado por um melhor

desempenho em flexibilidade. Da mesma forma que um pior desempenho em lead time poderia ser compensado por um melhor desempenho em acuracidade, por exemplo. A avaliação global da alternativa dependerá do valor da consequência para cada critério e do quanto um fornecedor é melhor do que outro em determinado critério, e não apenas do subconjunto de critérios em que a alternativa A é melhor do que a alternativa B, de tal forma que é possível haver compensação entre os critérios. Os critérios aqui considerados também são mutuamente independentes em preferência, visto que a estrutura de preferência condicional no espaço em um determinado critério, dado um valor fixo de outro critério, será independente deste valor que foi fixado. Sendo assim, devido a todas as características citadas, o método escolhido para solucionar o problema foi o modelo de agregação aditivo.

Na etapa 7 é efetuada a avaliação intracritério. A efeito de simplificação, foi considerado que a preferência do decisor é linear com relação a todos os critérios abordados, portanto a normalização dos critérios foi feita de acordo com a equação 3.1:

$$v'_j(a_i) = [v_j(a_i) - \text{Min } v_j(a_i)] / [\text{Max } v_j(a_i) - \text{Min } v_j(a_i)] \quad (3.1)$$

Onde $v_j(a_i)$ é o valor da avaliação da alternativa i para o critério j , e $v'_j(a_i)$ é o valor normalizado da avaliação da alternativa i para o critério j . Este é o método de normalização utilizado na maioria dos métodos aditivos, onde o valor normalizado da consequência pode ser interpretado como um percentual da faixa de variação entre os valores máximo e mínimo daquele critério (DE ALMEIDA, 2013). Este procedimento de normalização possui valor mínimo 0 e valor máximo 1 para as consequências normalizadas, e isto é necessário visto que o procedimento de elicitacão utilizado será o procedimento de *tradeoff* (KEENEY & RAIFFA, 1976), que utiliza comparações com consequências dos tipos de melhor desempenho e pior desempenho (1 e 0). Para os casos particulares dos critérios preço e lead time, que são de minimização, a função valor deste atributo para as diferentes alternativas é dado por $v'_j(a_i) = 1/v_j(a_i)$.

Na etapa 8, é feita a avaliação intercritério para obtenção dos valores das constantes de escada do modelo de agregação aditivo. Foi feita a elicitacão pelo procedimento de *tradeoff* junto ao decisor, e após 12 perguntas respondidas, obtiveram-se os seguintes valores para as constantes de escala:

Tabela 3.2–Constantes de escala obtidas pelo procedimento de elicitação por tradeoff

Critérios	Constantes de Escala
Preço	0,510
Frete	0,255
Acuracidade	0,127
Qualidade	0,064
Flexibilidade	0,032
Lead Time	0,008
Pontualidade	0,004

Fonte: Esta pesquisa.

Vale salientar aqui que estes valores obtidos para as constantes de escala não representam apenas o grau de importância dos critérios, mas estão relacionados ao valor das consequências associadas destes critérios, representando também um fator de escala.

Através da aplicação do modelo aditivo com as constantes de escala obtidas, os valores globais das alternativas foram obtidos na etapa 9, e são apresentados abaixo na tabela 3.3:

Tabela 3.3 - Resultado do ranking com os valores globais das alternativas

Posição	Alternativa	V(a)
1	Fornecedor 2	0,696
2	Fornecedor 1	0,617
3	Fornecedor 3	0,572
4	Fornecedor 5	0,418
5	Fornecedor 4	0,296

Fonte: Esta pesquisa.

A etapa 10 consiste na análise de sensibilidade, que trata de um estudo e análise do impacto provocado na saída do modelo, por variações na entrada deste. Em geral, podem ser feitos dois tipos de análise de sensibilidade (ALEMIDA, 2013):

- Para a avaliação isolada de parâmetros ou um tipo de dado de entrada;
- Para avaliação conjunta de todos os parâmetros e dados de entrada, ou um subconjunto deles.

Foi feito aqui apenas o primeiro tipo, alterando-se, primeiro, um valor na matriz de consequências, e depois, um valor da constante de escala:

- *Alterando um valor da matriz de consequências:* Foi feita uma suposição de uma possível negociação com o fornecedor 5, por exemplo, para a redução de preço para R\$15/kg. Esta alteração traz uma significativa mudança no resultado final, pois o valor global do fornecedor 5 seria, neste caso, 0,859, superando o valor global do fornecedor 2. O fornecedor 5 passaria de último lugar para primeiro lugar no ranking, sendo assim a

alternativa escolhida. Pode-se concluir, portanto, que este modelo é sensível a mudanças nos valores das conseqüências para o critério *preço* (que, por sua vez, é o critério que possui maior valor de constante de escala), pois uma alteração de aproximadamente 27% no valor do preço fez uma alternativa sair de última colocada para primeira colocada, sem nenhuma alteração nos valores dos demais critérios. Este fato mostra a possibilidade de talvez voltar à etapa 3, através do processo de refinamentos sucessivos proposto por de Almeida (2013), e revisar os valores das alternativas atribuídos para cada critério, já que uma pequena alteração pode causar uma mudança significativa no resultado.

- *Alterando o valor das constantes de escala:* Foram alterados os valores das constantes de escala, um de cada vez, em aproximadamente 20% para mais, e, depois de normalizados os pesos (através do procedimento 3 apresentado por de Almeida (2013)) e feitos os cálculos do modelo aditivo, observou-se que para nenhuma das constantes alteradas houve mudança na ordem das alternativas, e a solução permaneceu a mesma, Fornecedor 2. Isto mostra que o modelo é pouco sensível a pequenas alterações nas constantes de escala, ou seja, portanto é robusto com relação a estes parâmetros.

Na etapa 11 são analisados os resultados e é montado um relatório de recomendação para o decisor, com base no resultado final obtido e nas análises de sensibilidade do modelo.

Na etapa 12, após a decisão ser aprovada pela direção seguida da análise dos pontos mencionados no relatórios da etapa 11, a implementação do novo fornecedor já pode ser feita. Cabe à empresa analisar a conveniência de implantar a decisão de imediato ou decidir procrastiná-la. É interessante comunicar aos demais fornecedores que eles não foram selecionados, e fazer também um alinhamento com o fornecedor escolhido para resolver quaisquer pendências adicionais antes da emissão de ordens de compra e da entrega dos materiais.

3.3 Abordagem alternativa: elicitacão flexível

O problema de seleção de fornecedores ilustrado na seção 3.2 teve como procedimento de elicitacão de constantes de escala no modelo aditivo o método tradeoff, proposto por Keeney & Raiffa (1976). Este procedimento tem uma forte estrutura axiomática (WEBER & BORCHERDING, 1993), mas é pouco utilizado devido à dificuldade que apresenta para o decisor (EDWARDS & BARRON, 1994).

Neste contexto, esta seção apresenta como poderia ser a etapa 8 do problema acima se fosse utilizado o procedimento de elicitação por tradeoff interativo e flexível (FITradeoff), proposto por de Almeida *et al.* (2016). A seção 3.3.1 traz uma breve explicação do método, e na seção 3.3.2 é mostrada sua aplicação ao problema de seleção de fornecedores tratado aqui.

3.3.1 Método FITradeoff

O procedimento de elicitação de constantes de escala por tradeoff no modelo aditivo, apesar de apresentar uma estrutura axiomática robusta, traz consigo algumas limitações. O método exige que o decisor, a cada etapa, no momento de fazer comparação entre as conseqüências, especifique o ponto exato que o torna indiferente entre as duas conseqüências, para que, a partir daí, seja obtida uma igualdade que fará parte do sistema de equações para obtenção dos valores dos pesos. Especificar este ponto exato de indiferença não é uma tarefa fácil para o decisor, visto que exige um alto esforço cognitivo (DE ALMEIDA *et al.*, 2016), e, conseqüentemente, leva o método a apresentar uma alta taxa de inconsistências – 67%, de acordo com estudos comportamentais (BORCHERDING, EPPEL & VON WINTERFELDT, 1991).

O método de elicitação por Tradeoff Interativo e Flexível, ou FITradeoff, desenvolvido por de Almeida *et al.* (2016) foi motivado principalmente por estas questões. Ele é baseado no tradeoff tradicional, mas traz dois principais benefícios com relação a este método: primeiro, reduz a informação requerida por parte do decisor; segundo, a informação requerida é cognitivamente mais fácil de ser fornecida.

Neste método, que lida com informação parcial a respeito das preferências do decisor, a comparação de conseqüências é feita declarando relações de preferência estrita entre elas, o que é cognitivamente mais fácil do que estabelecer relações de indiferença. Por exemplo, suponha que, em um problema com quatro critérios hipotéticos, na etapa de ordenação das constantes de escala – feita de forma similar à do método tradeoff tradicional -, obtém-se que a constante de escala do critério 2 (k_2) é maior do que a constante de escala do critério 3. Então o decisor irá, no momento de comparação de conseqüências, declarar relações de preferência estrita com base em valores de x_2 ao redor do valor de indiferença.

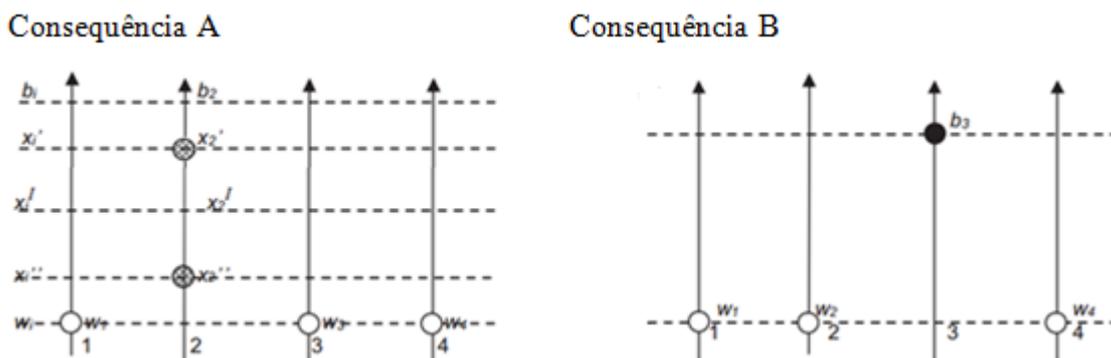


Figura 3.2–Conseqüências no método FITradeoff (Adaptada de de Almeida et al. 2016)

Na figura 3.2, por exemplo, se o ponto x_2^I for o ponto de indiferença entre as duas conseqüências, o decisor irá declarar preferência pela conseqüência A, caso $x_2 = x_2'$, de forma que o valor da conseqüência A, neste caso, será maior do que o valor da conseqüência B. Caso o valor de x_2 seja x_2'' , a conseqüência B será preferível, de forma que o valor da conseqüência B será maior do que o da conseqüência A. Obtidas estas declarações de preferência estrita por parte do decisor e considerando que o valor das conseqüências é dado pela função de agregação aditiva da equação 2.3, as seguintes inequações são obtidas:

$$k_2 v_2(x_2') > k_3 \tag{3.2}$$

$$k_2 v_2(x_2'') < k_3 \tag{3.3}$$

A partir destas inequações, o espaço de pesos da equação 3.4 é obtido:

$$\varphi_n = \left\{ \begin{array}{l} (k_1, k_2, k_3, \dots, k_n) \mid \sum_{i=1}^n k_i = 1; k_i \geq 0 \\ k_1 v_1(x''_1) < k_2 < k_1 v_1(x'_1); \dots; \\ k_i v_1(x''_i) < k_{i+1} < k_i v_1(x'_i); \dots; \\ k_{n-1} v_1(x''_{n-1}) < k_n < k_{n-1} v_1(x'_{n-1}) \end{array} \right\} \tag{3.4}$$

Ao longo do processo, o decisor vai respondendo mais questões deste tipo, então novas inequações são obtidas, de tal forma que o espaço de pesos é reduzido. A cada questão respondida pelo decisor, o modelo irá calcular a performance das alternativas no presente espaço de pesos, por meio de problemas de programação linear, através de um processo iterativo:

$$\text{Max } \sum_{i=1}^n k_i v_i(p_{ij}), j = 1, \dots, m$$

Sujeito a:

$$k_1 > k_2 > \dots > k_n$$

$$k_i v_i(x'_i) > k_{i+1} \quad i = 1 \text{ a } n - 1 \quad (3.5)$$

$$k_i v_i(x''_i) < k_{i+1} \quad i = 1 \text{ a } n - 1$$

$$\sum_{i=1}^n k_i v_i(p_{ij}) \geq \sum_{i=1}^n k_i v_i(p_{iz}), z = 1, 2, \dots, m, z \neq j$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1$$

$$k_i \geq 0, i = 1 \dots n$$

No modelo de programação linear 3.5, as variáveis de decisão são as constantes de escala k_1, k_2, \dots, k_n , e p_{ij} representa o payoff da alternativa j no critério i , conforme tabela 3.1. Este formato de PPL é executado, a cada interação, para cada uma das alternativas, testando a potencial otimalidade delas: uma alternativa é potencialmente ótima se seu valor é maior ou igual ao valor de todas as outras alternativas, simultaneamente, para pelo menos um conjunto de pesos dentro do espaço φ . O tempo de execução dos PPL não é percebido pelo decisor.

A figura 3.3 ilustra o processo de elicitacão do FITradeoff. A primeira etapa é a ordenaçã das constantes de escala dos critérios. Em seguida, o conjunto de alternativas A , que representa o conjunto de alternativas que podem ser ótimas para o problema, é setado igual a A_0 , que é o conjunto inicial de alternativas do problema. Entã os problemas de programação linear (3.5) comecam a rodar, para cada uma das alternativas do conjunto A , testando a potencial otimalidade delas, conforme a caixa tracejada mostra na figura 3.3. POA representa o conjunto que recebe todas as alternativas consideradas potencialmente ótimas pela programação linear, e irá alimentar o conjunto A ao final de todas as rodadas do PPL. Caso uma única alternativa ótima seja encontrada, ou seja, caso o número de alternativas em A seja igual a 1, o processo é finalizado. Caso contrário, o decisor poderá visualizar a performance das alternativas restantes através de gráficos e analisá-las, para decidir se ele quer ou não continuar o processo de elicitacão. O processo é flexível, portanto o decisor pode, a qualquer momento que achar que um determinado resultado parcial já é suficiente para ele, ou quando não estiver mais apto a dar informações, encerrar o processo de elicitacão. Caso o decisor esteja disposto a continuar, suas preferências serão avaliadas através de declarações de preferência estrita entre conseqüências do tipo A e B apresentadas na figura 3.2. Em sua resposta, o decisor pode declarar preferência a uma das conseqüências, indiferença entre as mesmas, ou simplesmente pular a questã, caso ache muito difícil de responder, o que evidencia ainda mais a flexibilidade do método. Entã, baseada na resposta dada pelo decisor,

uma nova inequação do tipo 3.2 ou 3.3 é obtida, de forma que o espaço de pesos mostrado em 3.4 é reduzido. Assim, a performance das alternativas no novo conjunto A será calculada para este novo espaço de pesos, obtendo-se um novo conjunto de alternativas potencialmente ótimas, e assim por diante, até que uma solução única seja encontrada ou que o decisor não esteja mais disposto a continuar o processo.

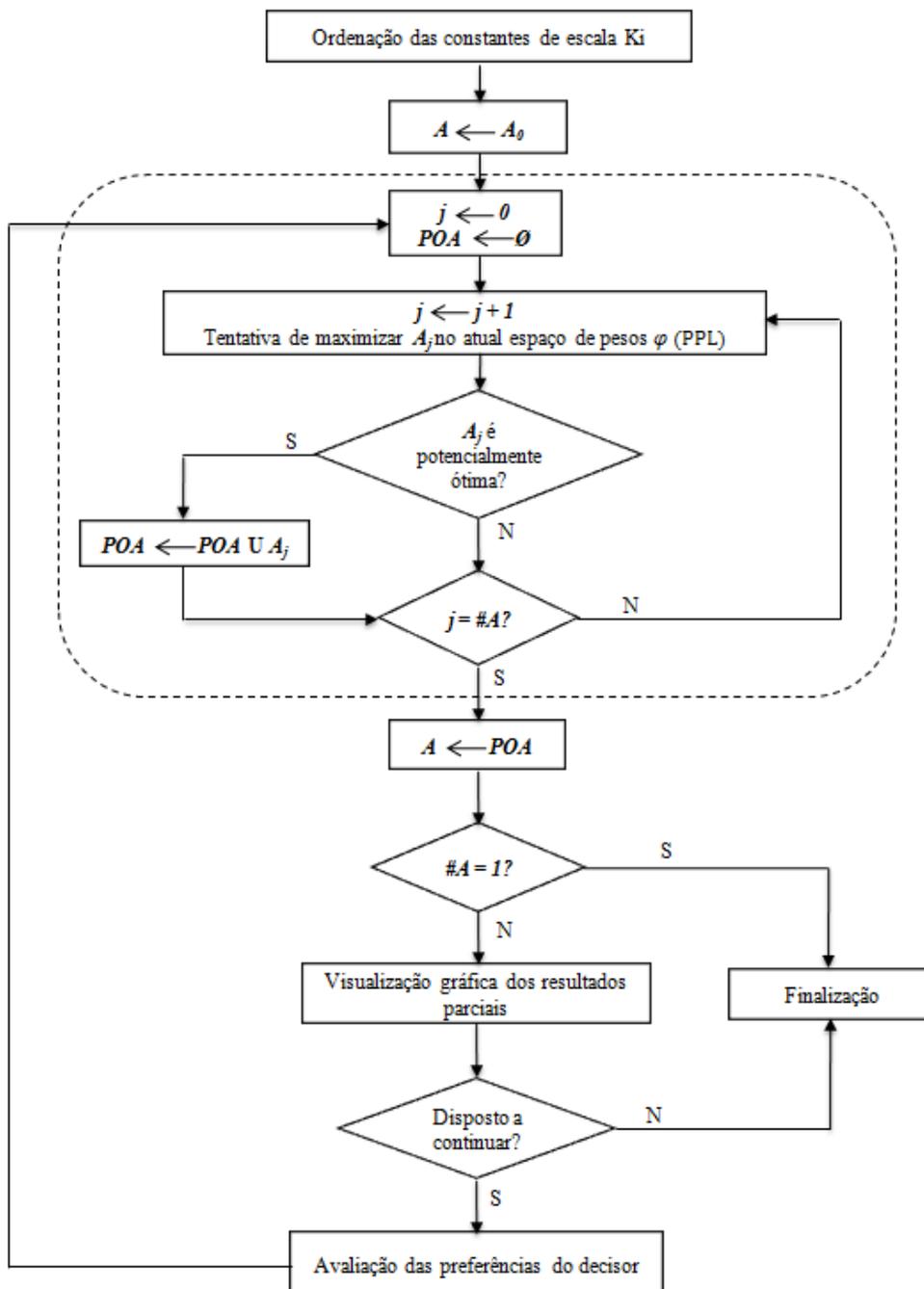


Figura 3.3 – Processo de elicitação do FITradeoff (Adaptada de de Almeida et al., 2016)

A elicitación é conduzida junto ao decisor por meio de um processo interativo e flexível. A interatividade se dá de forma que a cada pergunta feita, o modelo tenta encontrar uma solução para o problema. A flexibilidade do método consiste em avaliar sistematicamente a possibilidade de encontrar a solução do problema enquanto o processo de elicitación está sendo conduzido. Assim, o procedimento de elicitación pode ser suspenso assim que a solução for encontrada com a informação parcial obtida durante o processo (DE ALMEIDA *et al.*, 2016).

O FITradeoff requer um esforço cognitivo menor por parte do decisor se comparado ao tradeoff, pois declarações de preferência estrita são mais fáceis de fornecer do que declarações de pontos de indiferença entre as conseqüências. Desta forma, uma taxa menor de inconsistências é esperada. Assim, o FITradeoff supera as principais deficiências do procedimento de tradeoff tradicional, mas mantendo sua estrutura axiomática e propriedades.

3.3.2 Aplicação

A etapa 8 do processo de solução de problemas descrita na seção 3.2 poderia ser feita também utilizando o FITradeoff, ao invés do procedimento de tradeoff tradicional. Através de um experimento e dos resultados obtidos no tradeoff, as respostas do decisor para o FITradeoff foram simuladas, e o procedimento hipotético de elicitación é descrito abaixo.

Após a etapa de ordenação, os Fornecedores 4 e 5 foram eliminados, restando como alternativas potencialmente ótimas os Fornecedores 1, 2 e 3. Nesta etapa, o decisor poderia analisar graficamente a performance das alternativas não dominadas, mostradas na figura 3.4.

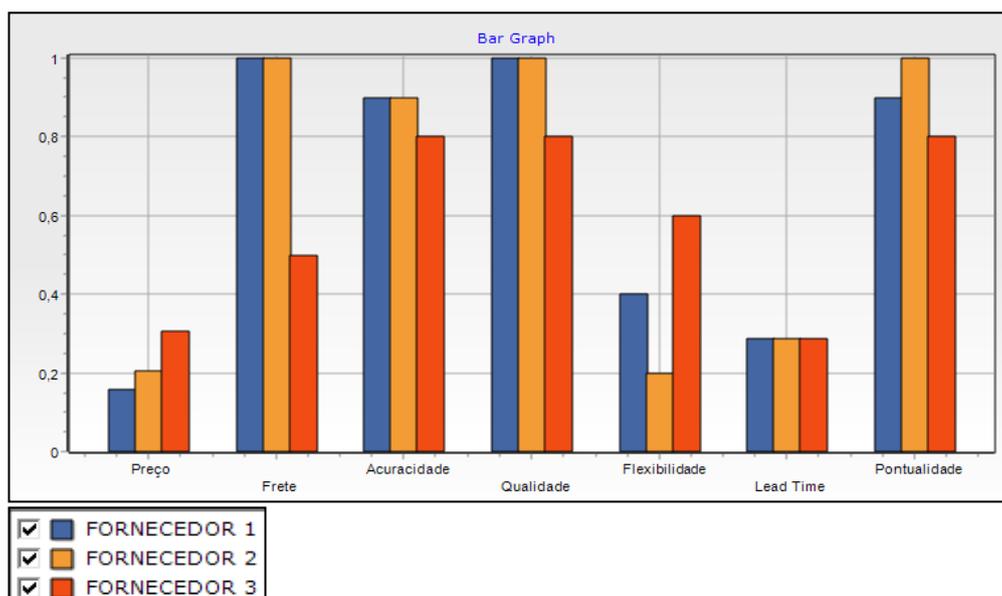


Figura 3.4- Gráfico comparativo das alternativas não dominadas após ordenação

O gráfico mostra a performance das alternativas nos critérios em uma escala de razão normalizada de 0 a 1, de acordo com a ordem de critérios determinada pelo decisor a esquerda para a direita. Cada cor de barra representa uma alternativa. Analisando a figura 3.4, pode-se notar que os fornecedores 2 e 3 estão praticamente empatados em termos de desempenho, mas o fornecedor 2 tem vantagem nos critérios preço e pontualidade, e é pior apenas no critério flexibilidade comparado com o fornecedor 3. Este, por sua vez, é melhor do que os outros apenas no quesito preço - que tem maior valor de constante de escala - e flexibilidade. Através de análises deste tipo, se o decisor achasse que estas informações já são suficientes para tomar uma decisão, ou se ele não estivesse disposto a dar nenhuma informação adicional, ele poderia optar por finalizar o processo de elicitação neste momento.

Caso optasse por continuar, ele responderia à primeira pergunta. Após esta primeira resposta, as três alternativas permaneceriam não dominadas, e a visualização gráfica continua sendo a mesma que foi mostrado pela figura 2. Entretanto, quando à segunda pergunta fosse respondida, o modelo encontraria uma única solução não dominada: Fornecedor 2. Ao contrário do procedimento de tradeoff tradicional, o FITradeoff não encontra valores exatos para a constante de escala, mas sim um conjunto de vetores de pesos para o qual a alternativa encontrada é ótima. O espaço de pesos obtidos ao final da elicitação pode ser visualizado pela figura 3.5, que mostra os valores máximos e mínimos dos pesos para cada critério.

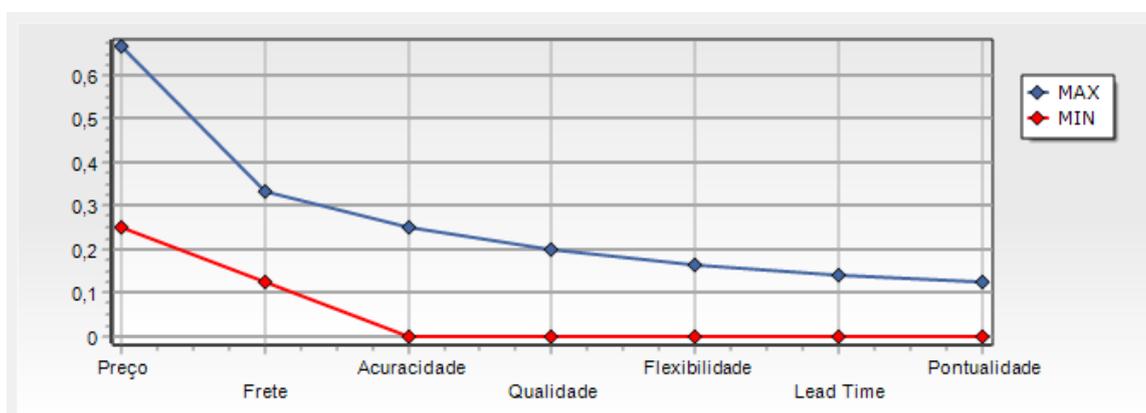


Figura 3.5- Espaço de pesos obtido ao final da elicitação

A solução encontrada foi o Fornecedor 2, o que já era esperado, pois foi a solução obtida pelo tradeoff tradicional. Com relação à aplicação do FITradeoff, pode-se notar que foram necessárias apenas duas perguntas para chegar a uma solução final. No procedimento de tradeoff, foram necessárias 12 perguntas para chegar a uma solução única. Além disso, as perguntas que foram respondidas no método tradicional solicitam que o decisor especifique um ponto de indiferença entre duas conseqüências, enquanto no FITradeoff ele responde apenas com declarações de preferência estrita entre uma das conseqüências.

Desta forma podem-se observar algumas vantagens na utilização do FITradeoff frente ao método tradicional, pois o decisor consegue chegar a uma solução final fornecendo bem menos informação do que fornece no método tradicional, economizando tempo e despendendo um menor esforço cognitivo.

Seria possível que, neste problema, ao invés de escolher apenas uma alternativa, o decisor desejasse obter uma ordenação de todas as alternativas, da melhor para a pior, com base em seus desempenhos globais. Como o FITradeoff não resulta em valores exatos para as constantes de escala dos critérios, mas sim em um espaço de pesos no qual a alternativa escolhida domina todas as outras, fazer um ranking com base nos valores globais não faz sentido. Isso acontece porque, para diferentes conjuntos de pesos dentro do espaço, obtêm-se diferentes rankings (mas sempre com a alternativa escolhida pelo FITradeoff em primeiro lugar). A seção 4 a seguir lida com esta questão, trazendo uma análise do método FITradeoff para a problemática de ordenação, mostrando como o processo pode ser conduzido.

4 ANÁLISE DA PROBLEMÁTICA DE ORDENAÇÃO

De acordo com Roy (1996), a problemática de ordenação ($P\gamma$) ajuda a alocar as ações em ordem crescente de preferência, determinando uma ordem definida baseada em um modelo de preferências. Como resultado, é sugerida uma ordem, completa ou parcial, formando classes que contém ações consideradas equivalentes (ROY, 1996).

Neste capítulo, será apresentado um procedimento para o FITradeoff na problemática de ordenação com base na versão inicial (DE ALMEIDA, 2014). Em seguida, três problemas de seleção de fornecedores serão resolvidos para ilustrar a aplicação do procedimento apresentado para problemática de ordenação.

4.1 Análise do FITradeoff com a Problemática de Ordenação

O método FITradeoff para problemática de ordenação tem etapas similares ao da problemática de escolha, mas se diferencia em alguns aspectos fundamentais.

Na problemática de escolha, o modelo de programação linear 3.5 é usado para verificar a viabilidade de maximizar cada alternativa, definindo, desta forma, as alternativas não dominadas do problema para o atual espaço de pesos. A cada etapa da elicitacão, ao escolher uma consequência, o espaço de pesos é atualizado, de forma que o conjunto de alternativas potencialmente ótimas vai sendo reduzido, até que reste apenas uma alternativa não dominada, que será a solução do problema de escolha.

Antes de descrever o procedimento de ordenação, primeiramente é preciso destacar aqui o conceito de *grupo* neste contexto, que será mencionado abaixo. Grupo pode ser entendido como um subconjunto de alternativas que estão em uma determinada posição do ranking. Estas alternativas do grupo são consideradas incomparáveis entre si para o corrente nível de informação parcial obtido. À medida que mais informação é obtida, os grupos podem ser redefinidos.

Na problemática de ordenação, diferentemente do que acontece no caso da escolha, ao invés de apenas uma alternativa não dominada, o método busca a formação de um ranking de todas as alternativas. Para isso, após a etapa de ordenação das constantes de escala, o modelo de programação linear 3.5 é calculado pela primeira vez para todas as alternativas, tentando maximizar cada uma delas. Como resultado desta primeira etapa, tem-se as alternativas não dominadas que farão parte do primeiro grupo ordenado. Ainda nesta etapa, as alternativas não

dominadas do primeiro grupo são desconsideradas, e então o modelo de programação linear é rodado novamente apenas para as alternativas remanescentes, buscando as alternativas não dominadas deste novo conjunto, que irão compor o segundo grupo. Em seguida, as alternativas do grupo 2 são também desconsideradas e a programação linear é rodada agora apenas para as alternativas remanescentes, buscando encontrar o terceiro grupo, e assim por diante. Este procedimento é repetido até que todas as alternativas sejam alocadas a algum grupo.

Na etapa de elicitacão, a cada resposta dada pelo decisor, o espaço de pesos é atualizado, e o procedimento acima é executado novamente a cada ciclo. O decisor responderá perguntas até que todas as alternativas sejam ordenadas, ou seja, até que o número de grupos formados seja igual ao número de alternativas.

A flexibilidade do método também permite ao decisor interromper a elicitacão antes de obter um ranking completo caso ele não esteja mais disposto a dar informações, ficando, assim, com o resultado parcial obtido.

Considere as seguintes definições:

- A : conjunto qualquer de alternativas;
- A_0 : Conjunto inicial de alternativas, abrange todas as alternativas do problema
- A_R : Alternativas ranqueadas de A , ou seja, que já pertencem a algum grupo
- A_{NR} : Alternativas não ranqueadas de A , ou seja, que ainda não pertencem a nenhum grupo
- A_{ND} : Alternativas não dominadas de A
- N_{grupos} : Número de grupos formados

De acordo com estas definições, o procedimento do FITradeoff para ordenação pode ser entendido de acordo com o processo descrito na figura 4.1.

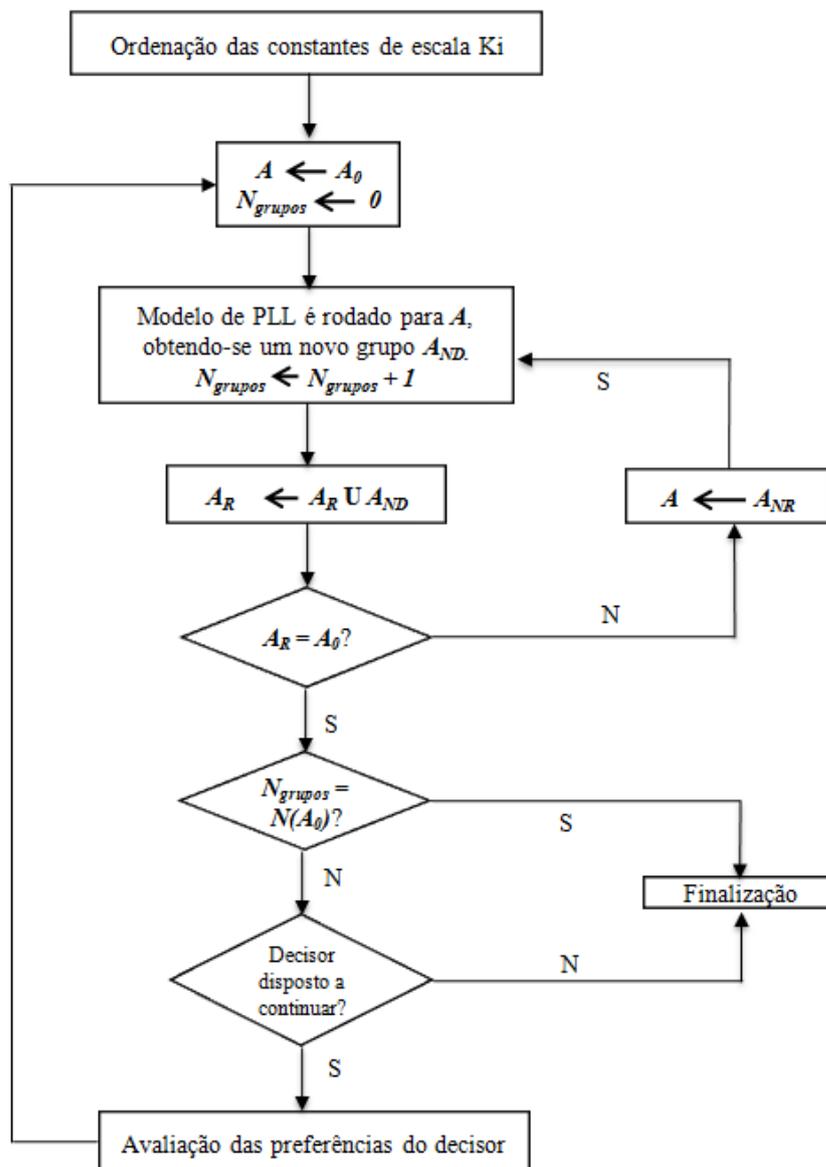


Figura 4.1- Processo do FITradeoff na problemática de ordenação

O processo ilustrado na figura 4.1 é baseado em destilação, procedimento que é também adotado pelo método Electre II (ROY, 1991) e em outros métodos de ordenação similares.

Em algum momento durante o processo, duas alternativas podem estar muito próximas em termos de valor global, para o corrente espaço de pesos. Se a máxima diferença entre os valores globais das alternativas, considerando todos os conjuntos de pesos possíveis dentro do espaço, for menor do que certo limiar, estas alternativas podem ser consideradas equivalentes. Isto leva a criação de um limiar de equivalência ϵ , estabelecido pelo decisor, onde ele vai indicar o valor para a máxima diferença entre alternativas abaixo do qual elas podem ser consideradas indiferentes. Quando algumas alternativas fizerem parte do mesmo grupo não

por incomparabilidade, mas por indiferença – determinada pelo limiar de equivalência –, tem-se a criação de subgrupos de alternativas equivalentes, que podem conter duas ou mais alternativas. Para efeito de continuidade do processo de elicitação e regra de parada, um subgrupo será considerado como uma alternativa já posicionada no ranking. No item 4.2 será feita uma análise de como a definição do limiar de equivalência pode interferir no processo.

4.2 Aplicação na Problemática de Ordenação

O método FITradeoff para problemática de ordenação foi aplicado a três problemas de seleção de fornecedores: Barla (2003), Xia & Wu (2007) e o problema descrito na seção 3. Foram utilizados diferentes valores para o limiar de equivalência: $\epsilon_1 = 0,01$; $\epsilon_2 = 0,001$; $\epsilon_3 = 0,0001$. Esta mudança nos valores de ϵ visa mostrar como o número de ciclos – número de perguntas feitas ao decisor – pode ser alterado, dependendo do valor escolhido para o limiar.

4.2.1 Primeira aplicação: Barla (2003)

O primeiro exemplo é o do Barla (2003), que é um problema de seleção de fornecedores com 10 alternativas (Subcontractors) e 7 critérios. A tabela 4.4 mostra a matriz de consequências do problema, que recomendou a solução do Subcontractor 1, com base no modelo aditivo.

Tabela 4.1- Matriz de consequências do problema de seleção de fornecedores de Barla (2003)

Alternatives	Quality Organization	Service	Capability	Financial Condition	Geographical Condition	Reliability	Price
Weights	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,11
Subc 1	59,6	64	55	80	100	61	40
Subc 2	60,3	10	70	100	100	83,3	40
Subc 3	51,3	44	55	80	100	66,6	40
Subc 4	57,6	53,5	45	60	100	39,3	40
Subc 5	59,6	22,5	80	100	100	58,3	40
Subc 6	49,6	41	70	80	100	19,3	40
Subc 7	58,3	45,5	51,5	60	100	35,6	40
Subc 8	56,6	71	51,5	60	100	52,6	40
Subc 9	59	71	83	60	100	36,6	40
Subc 10	61,3	57	43,5	80	100	42,6	40

Fonte: Barla (2003)

A tabela 4.2 mostra o resultado do problema acima após a aplicação do FITradeoff para ordenação com valor do limiar de equivalência $\epsilon_1 = 0,01$, o que significa que duas ou mais alternativas serão consideradas equivalentes (ou indiferentes) se a máxima diferença entre elas, para o atual espaço de pesos, for menor ou igual a este limiar. Para efeito de

representação na tabela, alternativas consideradas equivalentes ficam dentro do mesmo par de colchetes, por exemplo: [Subc 3, Subc 8]. Alternativas que estão no mesmo grupo, mas entre diferentes pares de colchetes, são consideradas incomparáveis para o corrente nível de informação parcial obtido, conforme comentado na seção 4.1.

Tabela 4.2- Aplicação no problema de Barla (2003) com $\epsilon = \epsilon_1$

c	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	Group 7
0	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8] [Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6] [Subc 7]				
1	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6]	[Subc 7]		
2	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6]	[Subc 7]		
3	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6]	[Subc 7]		
4	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6]	[Subc 7]		
5	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]	
6	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]	
7	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]	
8	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]	
9	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]	
10	[Subc 1] [Subc 2, Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3, Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]
11	[Subc 1] [Subc 2, Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3, Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]
12	[Subc 1] [Subc 2, Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3, Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]
13	[Subc 1]	[Subc 2, Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3, Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]
14	[Subc 1]	[Subc 2, Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3, Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]
15	[Subc 1]	[Subc 2, Subc 5, Subc 9]	[Subc 3, Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]

Fonte: Esta pesquisa.

Pode-se observar, pela tabela 4.2, que o processo de elicitação finaliza após 15 ciclos - ou perguntas respondidas pelo decisor -, além da etapa de ordenação das constantes de escala (representada por ciclo 0). Ao final do processo de elicitação, 7 grupos foram formados. O número final de grupos não coincidiu com o número de alternativas porque há dois subgrupos de alternativas equivalentes que são indiferentes para o limiar ϵ_1 e devem permanecer no mesmo grupo: [Subc 2, Subc 5, Subc 9], no grupo 2, e [Subc 3, Subc 8], no grupo 3. Sendo assim, ao final dos 15 ciclos, obteve-se uma pré-ordem completa.

A tabela 4.3 mostra a aplicação do mesmo problema para o valor do limiar de equivalência $\epsilon_2 = 0,001$.

Tabela 4.3 - Aplicação no problema de Barla (2003) com $\epsilon = \epsilon_2$

c	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	Group 7	Group 8	Group 9
0	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8] [Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6] [Subc 7]						
1	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6]	[Subc 7]				
2	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6]	[Subc 7]				
3	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6]	[Subc 7]				
4	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6]	[Subc 7]				
5	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
6	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
7	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
8	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
9	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
10	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
11	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
12	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
13	[Subc 1] [Subc 2]	[Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
14	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
15	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
16	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
17	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
18	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]	
19	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]	
20	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]	
21	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]	
22	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3, Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]	
23	[Subc 1]	[Subc 2]	[Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3, Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]

Fonte: Esta pesquisa.

Para este novo valor de $\epsilon_2 < \epsilon_1$, pode-se notar que foram necessárias 23 perguntas além da ordenação das constantes de escala. Ao final do vigésimo terceiro ciclo, obteve-se uma pré-ordem completa composta por 9 grupos, com as alternativas *Subc 3* e *Subc 8* empatadas no grupo 5.

Em comparação com a aplicação para o valor de ϵ_1 , são feitas 8 perguntas adicionais. De fato, é de se esperar que, reduzindo o valor do limiar de equivalência, o número de ciclos em busca de uma ordem completa – ou total – aumente. Isso acontece porque o valor máximo da diferença abaixo do qual duas alternativas são consideradas equivalentes diminui, então elas precisam ser ainda mais próximas para que haja essa equivalência. Assim, fica mais difícil encontrar uma relação de equivalência à medida que o limiar diminui. Desta forma, mais ciclos são necessários para tentar ordenar todas as alternativas, e a tendência é que, à

medida que esse limiar diminuir ainda mais, o resultado final seja uma ordem completa, ao invés de uma pré-ordem completa.

A tabela 4.4 ilustra a aplicação com um valor do limiar ainda menor do que os anteriores, $\epsilon_3 = 0,0001$.

Tabela 4.4 - Aplicação no problema de Barla (2003) com $\epsilon = \epsilon_3$

c	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	Group 7	Group 8	Group 9	Group 10
0	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8] [Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6] [Subc 7]							
1	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6]	[Subc 7]					
2	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6]	[Subc 7]					
3	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6]	[Subc 7]					
4	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 4] [Subc 6]	[Subc 7]					
5	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]				
6	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]				
7	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]				
8	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]				
9	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]				
10	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
11	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
12	[Subc 1] [Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
13	[Subc 1] [Subc 2]	[Subc 5] [Subc 9] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
14	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5] [Subc 9] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
15	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5] [Subc 9] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
16	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5] [Subc 9] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
17	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5] [Subc 9] [Subc 2] [Subc 5] [Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]			
18	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
19	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
20	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
21	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
22	[Subc 1]	[Subc 2] [Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]		
23	[Subc 1]	[Subc 2]	[Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 6] [Subc 10]	[Subc 4]	[Subc 7]		[Subc 7]
24	[Subc 1]	[Subc 2]	[Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 6] [Subc 10]	[Subc 4]	[Subc 7]		[Subc 7]
25	[Subc 1]	[Subc 2]	[Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3] [Subc 8]	[Subc 6] [Subc 10]	[Subc 4]	[Subc 7]		[Subc 7]
26	[Subc 1]	[Subc 2]	[Subc 5]	[Subc 9]	[Subc 3]	[Subc 8]	[Subc 10]	[Subc 6]	[Subc 4]	[Subc 7]

Fonte: Esta pesquisa.

Pode-se observar que foram necessárias 26 perguntas além da ordenação, 3 a mais comparado à aplicação com ϵ_2 e 11 a mais comparado à aplicação com ϵ_1 . Este valor muito pequeno de ϵ torna necessário que duas alternativas sejam realmente muito próximas, com diferença máxima menor ou igual a 0,0001, para que sejam consideradas equivalentes. Pela tabela 4.4, pode-se notar que em nenhum ciclo foram obtidas relações de equivalência entre

alternativas, de forma que não há relações de indiferença, e uma ordem completa com 10 grupos pode ser observada ao final do vigésimo sexto ciclo.

4.2.2 Segunda aplicação: Xia & Wu (2007)

O problema de seleção de fornecedores apresentado por Xia & Wu (2007) contém 4 alternativas (suppliers) e 8 critérios. Os pesos globais computados no artigo foram utilizados como referência para a aplicação do FITradeoff. A tabela 4.5 mostra a matriz de conseqüências do problema.

Tabela 4.5- Matriz de conseqüências do problema de seleção de fornecedores de Xia & Wu (2007)

Supplier (Sup)	Price	Technical Level	Defects	Reliability	On-Time Delivery	Supply Capacity	Repair turn round	Warranty Period
Weights	0,4321	0,0637	0,1173	0,0536	0,1333	0,1	0,06667	0,0333
Sup 1	55	2	0,04	80	0,85	400	2	4
Sup 2	40	1	0,01	95	0,95	700	1	3
Sup 3	45	1	0,02	90	0,98	600	1	3
Sup 4	50	3	0,06	70	0,9	500	3	4

Fonte: Xia & Wu (2007)

A tabela 4.6 mostra a aplicação deste problema para o valor de limiar de equivalência $\epsilon_1 = 0,01$.

Tabela 4.6: Aplicação no problema de Xia & Wu (2007) com $\epsilon = \epsilon_1$

C	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
0	[Sup 2]	[Sup 3]	[Sup 4]	[Sup 1]

Fonte: Esta pesquisa.

Logo na etapa de ordenação das constantes de escala, uma ordem completa já foi encontrada, com Sup 2 na primeira posição, similar ao resultado obtido por Xia & Wu (2007). Não foi necessário fazer nenhuma pergunta ao decisor após a etapa de ordenação dos k_i . Como já se chegou a uma ordem completa no ciclo 0, esta ordem completa permanecerá para qualquer limiar de equivalência abaixo de ϵ_1 . Sendo assim, reduzir o limiar de equivalência para os valores de ϵ_2 e ϵ_3 levará a um resultado idêntico ao da tabela 4.6, não sendo necessário, portanto, replicá-los aqui.

Esta aplicação mostra que um mínimo de esforço seria necessário para o decisor ao utilizar o FITradeoff em alguns problemas, como este. O decisor teve apenas a tarefa de ordenar as constantes de escala k_i , e com isso a solução do problema já foi obtida, resultando em uma ordem completa das alternativas.

4.2.3 Terceira aplicação: Seleção de fornecedores em uma indústria de alimentos

O terceiro problema é o caso descrito na seção 3, cuja matriz de conseqüências pode ser visualizada na tabela 3.1 e os pesos de referência utilizados foram aqueles valores encontrados pelo procedimento de tradeoff, da tabela 3.2. Na seção 3, o problema foi resolvido com o procedimento de tradeoff e com o método FITradeoff para problemática de escolha. Na tabela 4.7, é mostrado o resultado da aplicação do FITradeoff para a problemática de ordenação, com limiar de equivalência $\epsilon_1=0,01$.

Tabela 4.7- Aplicação no problema da seção 3 com $\epsilon = \epsilon_1$

c	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5
0	[FORNEC 1] [FORNEC 2] [FORNEC 3]	[FORNEC 4] [FORNEC 5]			
1	[FORNEC 1] [FORNEC 2] [FORNEC 3]	[FORNEC 4] [FORNEC 5]			
2	[FORNEC 2]	[FORNEC 1]	[FORNEC 3] [FORNEC 5]	[FORNEC4]	
3	[FORNEC 2]	[FORNEC 1]	[FORNEC 3]	[FORNEC 5]	[FORNEC 4]

Fonte: Esta pesquisa.

Na seção 3.3.2 foi visto que o problema de escolha era solucionado com a aplicação do FITradeoff após o decisor responder a duas perguntas, o que pode ser confirmado analisando-se a tabela 4.7, pois o Fornecedor 2 ocupa a primeira posição isolado a partir do segundo ciclo. Entretanto, para a obtenção de uma ordem completa, ainda foi necessária uma pergunta adicional, resultando em um total de 3 ciclos além da ordenação dos critérios.

Similar ao que acontece no problema de Xia & Wu (2007) mostrado na seção 4.2.2, uma ordem completa foi obtida para o valor do limiar de equivalência igual a ϵ_1 , de forma que esta ordem se mantém para qualquer limiar abaixo de ϵ_1 , não sendo necessário, portanto, mostrar o resultado para ϵ_2 e ϵ_3 , visto que é igual ao da tabela 4.7.

4.3 Discussão dos Resultados

Através das aplicações mostradas acima, algumas considerações relevantes vêm à tona. Através da aplicação do problema de Barla (2003), pode-se observar, por exemplo, que quanto menor o valor do limiar de equivalência, maior o número de ciclos em busca de uma ordem completa. Isso ocorre porque um limiar de equivalência mais alto aumenta a chance de ocorrência de empate entre as alternativas, caracterizando uma relação de indiferença, e levando à formação de uma pré-ordem completa, ao invés de uma ordem completa.

Conseqüentemente, o decisor pode definir um limiar de equivalência mais alto, buscando diminuir o número de ciclos, reduzindo seu esforço.

Já no problema de Xia & Wu (2007), uma ordem completa das alternativas foi obtida logo na etapa de ordenação das constantes de escala dos critérios. Isso mostra que, em alguns casos, o método pode ser eficiente a ponto de não precisar de nenhuma resposta do decisor, que terá seu problema resolvido rapidamente despendendo esforço mínimo.

O resultado da aplicação ao problema de seleção de fornecedores na indústria de alimentos para ordenação pode ser comparado ao da problemática de escolha resolvido com o FITradeoff na seção 3.3.2. A primeira alternativa da ordenação, como era de se esperar, foi a mesma selecionada na problemática de escolha. Porém foi necessária uma pergunta adicional para se chegar a uma ordem completa. Nem sempre a diferença entre o número de perguntas feitas nas problemáticas de ordenação e na escolha é tão pequena assim. Em alguns casos pode ser até igual, como no exemplo de Xia & Wu (2007). Ou então pode ser bem maior, como pode ser observado no caso do problema de Barla (2003). Na tabela 4.4, observa-se que a alternativa Subc1 foi escolhida no décimo quarto ciclo, porém uma ordem completa só foi obtida no vigésimo sexto ciclo, resultando em um adicional de doze perguntas para a problemática de ordenação.

Comparando os três casos diferentes para o mesmo valor de $\epsilon_1 = 0,01$, no primeiro problema foram necessárias 15 perguntas, conforme tabela 4.2, enquanto no segundo problema nenhuma pergunta foi necessária além da etapa de ordenação, conforme tabela 4.6, e no último problema apenas 3 perguntas foram necessárias (tabela 4.7). Isso mostra que o número de perguntas está muito relacionado aos dados do problema, como por exemplo a distribuição dos pesos (similares ou skewed) e a topologia das alternativas. Heurísticas para reduzir o número de perguntas devem ser estudadas, visando gerar economia de esforço por parte do decisor e propiciando um processo de tomada de decisão que exija um menor dispêndio de tempo por parte dele.

Apesar de mostrar-se adequado pelas aplicações feitas, o procedimento de ordenação apresentado para a problemática do FITradeoff apresenta algumas questões que merecem ser estudadas a fundo e levam a oportunidades de melhoria. A questão da formação dos grupos de alternativas não dominadas durante o processo pode dar uma informação talvez confusa para o decisor, e em alguns casos pode até ser incoerente. Por exemplo, suponha em um problema hipotético com quatro alternativas A1, A2, A3 e A4, que, após a ordenação das constantes de

escala, o grupo 1 é formado pelas alternativas A1 e A2, e o grupo 2 é formado pelas alternativas A3 e A4. A1 e A2 não são dominadas por nenhuma outra alternativa, por isso estão no primeiro grupo, e são incomparáveis entre si, pois nenhuma domina a outra. Suponha que A3 foi para o segundo grupo porque é dominada por A1, e A4 foi para o segundo grupo porque é dominada por A2. Neste caso, não se pode afirmar, por exemplo, que A1 é melhor do que A4; elas são incomparáveis entre si, pois nenhuma domina a outra. Então, a alternativa A1 ocupa uma posição melhor do que A4 sem, necessariamente, ser melhor do que ela. Isto acontece porque, ao longo do processo, o espaço de pesos pode ser reduzido de tal forma que A1 passe, por exemplo, a ser dominada por A4, e aí então A1 iria para um grupo inferior ao de A4. Então a informação inicial de que A1 faz parte de um grupo superior a A4 mostrada no início vale para o espaço de pesos inicial obtido após a etapa de ordenação, mas, após uma determinada redução do espaço de pesos, esta informação pode não ser mais verdadeira. Desta forma, uma alternativa que no início do processo está no grupo 1, pode vir a terminar no último grupo, dependendo de como o espaço de pesos for modificado ao longo do processo com as respostas do decisor.

O exemplo mencionado acima mostra uma possível incoerência que pode ocorrer no procedimento, pois a representação em forma de grupos ordenados a cada ciclo pode confundir o decisor devido a mudanças que podem ocorrer durante o processo. Uma sugestão de trabalho futuro para evitar isso seria investigar as relações de dominância par a par a cada ciclo, de forma que uma alternativa só poderia ocupar uma posição superior a outra caso a primeira dominasse a segunda. A complexidade computacional aumentaria em decorrência do número de problemas de programação linear necessários para construir uma matriz de dominância par a par, mas ao mesmo tempo a informação dada a ao decisor seria mais precisa e coerente ao longo de todos os ciclos.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

O presente trabalho apresentou, primeiramente, a formulação de um modelo multicritério para um problema de seleção de fornecedores em uma empresa brasileira do setor alimentício, com base no procedimento de 12 etapas e refinamentos sucessivos de Almeida (2013). A elicitación das constantes de escala no modelo aditivo foi feita, a princípio, utilizando o procedimento de tradeoff (KEENEY & RAIFFA, 1976), no qual foram necessárias doze perguntas na entrevista com o decisor para se chegar aos valores finais das constantes de escala e assim obter os valores globais das alternativas através da agregação aditiva. Em seguida, uma abordagem alternativa foi apresentada, através da aplicação método FITradeoff, e algumas vantagens deste método puderam ser observadas, se comparado ao tradeoff tradicional.

Primeiro, o número de perguntas feitas no FITradeoff para chegar ao resultado final foi de apenas duas, dez a menos que no tradeoff. A redução significativa no número de perguntas se mostra atraente para o decisor, que busca a tomada de decisão despendendo o mínimo de esforço possível.

Segundo, nas perguntas feitas no tradeoff, o decisor precisa especificar o ponto exato que torna duas conseqüências indiferentes, enquanto o FITradeoff exige julgamentos a respeito de relações de preferência estrita apenas. A especificação do ponto de indiferença é difícil para o decisor e exige um alto esforço cognitivo, então ele pode não conseguir dar a informação de forma precisa, o que acaba por acarretar inconsistências nas suas respostas, fazendo com que ele tenha que voltar ao processo para rever seus julgamentos. Estabelecer relações de preferência estrita é cognitivamente mais fácil e intuitivo para o decisor.

A questão que surge ao final da aplicação é que, em algumas situações, o decisor pode não querer escolher apenas uma alternativa no problema de decisão, mas sim ter um ranking de todas elas. O FITradeoff não resulta em valores exatos de pesos para as constantes de escala, e sim em um espaço de pesos onde, para qualquer conjunto de valores dentro deste espaço, a alternativa escolhida tem valor global maior do que as demais. Entretanto, para diferentes conjuntos de pesos dentro deste espaço, apesar da primeira alternativa se manter sempre a mesma, o ranking das demais pode variar, por isso pode não fazer sentido escolher um conjunto de pesos e ranqueá-las.

Neste contexto, este trabalho apresentou também um procedimento para o FITradeoff na problemática de ordenação, baseado em destilação, que é utilizado também em alguns outros métodos, a exemplo do Electre II. O procedimento é baseado na formação de grupos de alternativas não dominadas, podendo haver também subgrupos de alternativas equivalentes dentro dos grupos.

Através de três aplicações deste procedimento de ordenação em problemas de seleção de fornecedores, algumas considerações relevantes vêm à tona. Pôde-se observar, através da aplicação do problema de Barla (2003), que o aumento do valor do limiar de equivalência pode levar à redução do número de ciclos, e assim o decisor despenderá um esforço menor, respondendo a menos perguntas. Entretanto, quanto menor o valor deste limiar, maior a chance de obter-se uma ordem completa ao final do processo, sem empates entre as alternativas, porém com um número maior de perguntas feitas. Outra observação interessante foi feita no problema de Xia & Wu (2007), onde obteve-se uma ordem completa das alternativas logo na etapa de ordenação das constantes de escala, mostrando que o método pode ser bastante eficiente em alguns problemas, despendendo esforço mínimo por parte do decisor. No problema de seleção de fornecedores da indústria de alimentos descrito na seção 3, a aplicação para a problemática de ordenação mostrou que o número de perguntas para encontrar uma ordem completa foi três, sendo necessária apenas uma pergunta a mais do que no problema de escolha.

Em suma, este trabalho apresentou, por meio de aplicações a problemas de seleção de fornecedores – um dos problemas de tomada de decisão mais críticos enfrentados pelas empresas –, questões envolvendo o método multicritério FITradeoff nas problemáticas de escolha e sua extensão para a problemática de ordenação, que ainda possui diversos aspectos relevantes para serem analisados e estudados a fundo.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Conforme mencionado na seção 4.3, o procedimento de ordenação apresentado para a problemática do FITradeoff ainda apresenta algumas oportunidades de melhoria que podem ser investigadas. Questões relacionadas ao espaço de pesos e relações de dominância exigem uma análise mais detalhada, que deve ser feita em futuros estudos.

O desenvolvimento e aprimoramento do FITradeoff para ordenação abre caminho para a expansão do método para problemas de decisão em grupo. As decisões nas organizações

têm envolvido, de forma crescente, um processo participativo e colaborador entre os vários agentes de decisão, trazendo à tona a importância da problemática de decisão em grupo, que busca apoiar grupos ou indivíduos dentro dos grupos na busca de uma decisão coletiva (de ALMEIDA *et al.*, 2012). A adaptação do método para decisão em grupo poderia ser feita através da construção de um sistema de suporte a decisão em grupo, onde cada participante pudesse ver a ordem das alternativas para os demais, de forma que possam debater com relação aos diferentes pontos de vista em busca de uma decisão coletiva.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, L.H.; DE ALMEIDA, A.T. Multicriteria decision group model for the selection of suppliers. *Pesquisa Operacional*, 28(2): 321-337, 2008.
- ALENCAR, L.H.; DE ALMEIDA, A.T. Supplier selection based on the PROMETHEE VI multicriteria method. *Evolutionary Multi-Criterion Optimization*. Springer, Berlin, p. 608-618, 2011.
- AWASTHI, A.; CHAUHAN, S.S.; GOYAL, S.K. A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. *International Journal of Production Economics*, 126(2): 370-378, 2010.
- BALLOU, R.H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial*. Bookman, 2006.
- 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.
- BARLA, B.S. A case study of supplier selection for lean supply by using a mathematical model. *Logistics Information Management*, 16(6): 451-459, 2003.
- 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.
- BOWERSOX, D.; CLOSS, D.; COOPER, M.B. *Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos*. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- 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. FITradeoff method for Resolving Evaluation of Criteria by Interactive Flexible Elicitation in Group and Multicriteria Decision Aid. CDSID working paper also presented as keynote at *Joint International Conference of the INFORMS GDN Section and the EURO Working Group on DSS*, Toulouse, 2014.
- 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.; 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.; MORAIS, D.M.; COSTA, A.P.C.S.; ALENCAR, L.H., DAHER, S.F.D. *Decisão em Grupo e Negociação: Métodos e Aplicações*. Editora Atlas, 2012.
- DE ALMEIDA, A.T.; RAMOS, F.S. *Gestão da informação na competitividade das organizações*. Pernambuco: UFPE, 2002.
- 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.
- FARIA, P. O.; VANALLE, R. M. Critérios para a seleção de fornecedores: uma análise das práticas de grandes empresas industriais do estado do Espírito Santo. *Anais do XXVI Enegep – XXVI ENEGEP*, Fortaleza, 2006.
- GONÇALO, T.E.E.; ALENCAR, L.H. A Supplier Selection Model Based on Classifying its Strategic Impact for a Company's Business Results. *Pesquisa Operacional*, 34(2): 347-369, 2014.
- HAMALAINEN, R.P.; SALO, A.A.; POYSTI, K. Observations about consensus seeking in a multiple criteria environment. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on. IEEE*, p. 190-198, 1992.

- JUNIOR, F.R.L.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L.C.R. Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. *Gestão & Produção*, 20(4): 781-801, 2013.
- KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. *Decision analysis with multiple conflicting objectives*. Wiley & Sons, New York, 1976.
- 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.
- 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.
- 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.
- PARTHIBAN, P.; ZUBAR, H.A.; KATAKAR, P. Vendor selection problem: a multi-criteria approach based on strategic decisions. *International Journal of Production Research*, 51(5): 1535-1548, 2013.
- RIABACKE, M.; DANIELSON, M.; EKENBERG, L. State-of-the-art prescriptive criteria weight elicitation. *Advances in Decision Sciences*, v. 2012, 2012.
- ROY, B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and decision*, 31(1): 49-73, 1991.
- 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.; 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.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas, 2002.
- SPLIET, R.; TERVONEN, T. Preference inference with general additive value models and holistic pair-wise statements. *European Journal of Operational Research*, 232(3): 607-612, 2014.
- SPRAGUE JR, R. H.; WATSON, H. J. DSS bibliography. *Decision Support Systems: Putting Theory into Practice*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 403-411, 1989.
- VON WINTERFELDT, D.; EDWARDS, W. *Decision analysis and behavioral research*, 1986.
- WEBER, C.A.; CURRENT, J.R. A multiobjective approach to vendor selection. *European Journal of Operational Research*, 68(2): 173-184, 1993
- 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

XIA, W.; WU, Z. Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. *Omega*, 35(5): 494-504, 2007.

ZEYDAN, M.; ÇOLPAN, C.; ÇOBANOĞLU, C. A combined methodology for supplier selection and performance evaluation. *Expert Systems with Applications*, 38(3): 2741-2751, 2011.