

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

JENNY MILENA MORENO RODRIGUEZ

**MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE
FORNECEDORES DE EQUIPAMENTOS LABORATORIAIS PARA PESQUISA
AGROPECUÁRIA**

RECIFE

2017

JENNY MILENA MORENO RODRIGUEZ

**MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE
FORNECEDORES DE EQUIPAMENTOS LABORATORIAIS PARA PESQUISA
AGROPECUÁRIA**

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: Gerência da Produção.

Orientador: Prof.PhD.Adiel Teixeira de Almeida.

RECIFE
2017

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

R696m Rodriguez, Jenny Milena Moreno.
 Modelo de decisão multicritério para seleção de fornecedores de equipamentos laboratoriais para pesquisa agropecuária / Jenny Milena Moreno Rodriguez. - 2017.
 94 folhas, Il.; Tabs.; Eq.; Abr; e Sigl.

 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. Decisão Multicritério. 3. Seleção de Fornecedores. 4. FITradeoff. 5. Pesquisa Agropecuária. 6. Equipamentos Laboratoriais. I. Almeida. Adiel Teixeira de (Orientador). II. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.)

BCTG/2017-391



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

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

JENNY MILENA MORENO RODRIGUEZ

***“MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES
DE EQUIPAMENTOS LABORATORIAIS PARA PESQUISA AGROPECUÁRIA”***

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GERÊNCIA DA PRODUÇÃO

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera a candidata **JENNY MILENA MORENO RODRIGUEZ, APROVADA.**

Recife, 16 de Novembro de 2017.

Prof. Adiel Teixeira De Almeida, PhD (UFPE) - Orientador

Prof. DANIELLE COSTA MORAIS, Doutora (UFPE) – Examinadora Interna

Prof. HERMANO PERRELLI DE MOURA, PhD (UFPE) – Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

À CAPES, o órgão financiador que possibilitou a elaboração desta pesquisa.

À coordenação do PPGEP pelo apoio incondicional durante o curso e por me permitir ser parte da UFPE e realizar o mestrado no Brasil.

Ao professor Adiel Teixeira de Almeida, pela confiança e paciência, pelas oportunidades que me permitiram melhorar academicamente e por me ensinar que ser exigente é sinônimo de compromisso e profissionalismo.

Aos meus colegas no laboratório CDSID, porque são pessoas maravilhosas que sempre estavam dispostas a me escutar, especialmente a Takanni e Eduarda, muito obrigada pela amizade, a ajuda com os estudos, os conselhos e as palavras de tranquilidade.

Ao meu esposo que segue meus passos em todas minhas aventuras e aguardou pacientemente meu regresso; a minha família, por me esperar com os braços abertos.

Do meu trabalho, ao diretor executivo por promover o desenvolvimento profissional dos seus colaboradores mesmo à distância, à minha chefe por acreditar em mim e aos meus colegas por ajudarem na pesquisa, pelas contribuições e os bons desejos para concluir o curso.

A Gabriela e Rodrigo pela ajuda em Recife desde o primeiro dia, por me fazerem parte da sua família ao me oferecer um lar que me fez sentir como em casa.

*Tell me and I'll forget,
Show me and I may remember,
Involve me and I'll understand.*

(Provérbio chinês)

RESUMO

Uma das estratégias para garantir o desenvolvimento econômico de um país está representada nas melhorias agropecuárias alcançadas em termos de inovação tecnológica para desenvolvimento de novos produtos ou técnicas de análise. Uma vez que o sucesso de uma pesquisa é determinado pelo desempenho encontrado nos testes de laboratório, é fundamental que tais inovações estejam refletidas também nas atividades laboratoriais. Apesar de existirem diversos estudos focados em pesquisa agropecuária, poucos realmente fazem referência aos procedimentos administrativos que garantem a disponibilidade dos recursos físicos e que consequentemente influenciam a realização das pesquisas. Com o intuito de enriquecer e aumentar a produtividade, as empresas precisam de metodologias que consigam gerar uma vantagem competitiva dentro do mercado, refletida em benefícios econômicos. A seleção de fornecedores é uma das atividades mais importantes sob a perspectiva econômica para muitas organizações, sendo assim um problema clássico de decisão multicritério por incluir objetivos conflitantes entre si, e cuja decisão tomada pode influenciar na competitividade da companhia. Neste contexto, este trabalho propõe a construção de um modelo multicritério para seleção de fornecedores de equipamentos laboratoriais, onde as preferências dos decisores estão analisadas sob distintos cenários de compra. Dadas as dificuldades encontradas durante o processo de avaliação de preferências, utilizou-se o método de elicitación por *Tradeoff* Interativo e Flexível (*FITradeoff*) para superar tais limitações. Comparado ao procedimento tradicional, o método *FITradeoff* apresentou a vantagem de não requerer do decisor a especificação de valores exatos de indiferença, e necessitar de menos perguntas para se chegar à solução. O modelo foi aplicado em uma empresa colombiana de pesquisa agropecuária para a escolha da alternativa com melhor desempenho global. Os resultados mostraram que a solução final alcançada não foi a mais barata em termos de preço de venda, o que mostra que uma abordagem de critério único baseada apenas em fatores de custo, que geralmente ocorre na prática, pode não ser suficiente para garantir o atendimento dos processos de compras, e atingir os objetivos organizacionais.

Palavras-chave: Decisão multicritério. Seleção de fornecedores. *FITradeoff*. Pesquisa agropecuária. Equipamentos laboratoriais.

ABSTRACT

One of the strategies to guarantee the economic development in a country is represented by the agricultural improvements reached in terms of technological innovation for development of new products or techniques of analysis. Since the success of a research is determined by the performance found in the laboratory tests, is essential that such innovations are reflected also in the laboratory activities. Although there are several studies focused on agricultural research, few actually refer to the administrative procedures that guarantee the availability of physical resources and that consequently influence the driving of researches. In order to enrich and increase the productivity, firms need methodologies that lead generate a competitive advantage within the market, reflected in economic benefits. The supplier selection is one of the most important tasks from the economic perspective for many organizations and is therefore a classic multiple criteria decision problem because it includes conflicting goals and whose decision may influence the competitiveness of the company. In this context, this work proposes building a multicriteria model for supplier selection of laboratory equipment, which the preferences of the decision makers are analyzed under different cases of purchases. Since the difficulties encountered during the preferences evaluation process, the Interactive and Flexible Tradeoff (*FITradeoff*) elicitation method was used to overcome these limitations. Compared to traditional procedure, *FITradeoff* method showed the advantage of not requiring exact values of indifference from the decision maker, and of needing fewer questions to reach the solution. The model was applied at a Colombian agricultural research company, to choose the alternative with the best overall performance. The results showed that the final solution achieved was not the cheaper in terms of sale price, which shows that a single criteria approach based only on cost factors, that often occurs in practice, may not be enough to guarantee the fulfillment of the purchasing process, and to achieve the organizational objectives.

Keywords: Multicriteria decision making. Supplier selection. *FITradeoff*. Agricultural research. Laboratory equipment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Metodologia de Pesquisa.....	18
Figura 2.1 - Perfis de Consequências Hipotéticas no Procedimento <i>Tradeoff</i>	26
Figura 3.1 - Organograma da Empresa de Aplicação.....	35
Figura 3.2 - Procedimento de Compra de Equipamentos.....	37
Figura 3.3 - Problema de Pesquisa	38
Figura 3.4 - Procedimento para Resolução de um Problema de Decisão.....	39
Figura 3.5 - Ordenação das Constantes de Escala dos Critérios	52
Figura 3.6 - Exploração do Espaço de Consequências.....	53
Figura 3.7 - Obtenção das Constantes de Escala.....	54
Figura 3.8 - Apresentação de Resultados	56
Figura 3.9 - Apresentação de Inconsistências	63
Figura 4.1 - Fluxograma do Método <i>FITradeoff</i>	66
Figura 4.2 - Perfis de Consequências Hipotéticas no Método <i>FITradeoff</i>	68
Figura 4.3 - Avaliação Holística para a Ordenação das Constantes de Escala dos Critérios no Método <i>FITradeoff</i>	69
Figura 4.4 - Comparação Par a Par para Ordenação das Constantes de Escala dos Critérios no Método <i>FITradeoff</i>	69
Figura 4.5 - Elicitação com <i>FITradeoff</i>	70
Figura 4.6 - Apresentação Gráfica de Resultados no <i>FITradeoff</i>	70
Figura 4.7 - Resultados Parciais para o decisor D_{C2} no Início da Elicitação.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Matriz de Decisão.....	22
Tabela 3.1 - Caracterização dos Decisores	40
Tabela 3.2 - Critérios Estabelecidos	45
Tabela 3.3 - Caracterização dos Cenários	46
Tabela 3.4 - Matriz de Consequências para o Cenário A	47
Tabela 3.5 - Matriz de Consequências para o Cenário B	48
Tabela 3.6 - Matriz de Consequências para o Cenário C	49
Tabela 3.7 - Matriz de Decisão Normalizada para o Cenário A.....	50
Tabela 3.8 - Matriz de Decisão Normalizada para o Cenário B.....	51
Tabela 3.9 - Matriz de Decisão Normalizada para o Cenário C.....	51
Tabela 3.10 - Constantes de Escala Obtidas para o Cenário A	54
Tabela 3.11 - Constantes de Escala Obtidas para o Cenário B.....	55
Tabela 3.12 - Constantes de Escala Obtidas para o Cenário C.....	55
Tabela 3.13 - Resultados do Ranking das Alternativas e Valores Globais no Cenário A.....	56
Tabela 3.14 - Resultados do Ranking das Alternativas e Valores Globais no Cenário B	57
Tabela 3.15 - Resultados do Ranking das Alternativas e Valores Globais no Cenário C	58
Tabela 3.16 - Análise de Sensibilidade para o Cenário A.....	59
Tabela 3.17 - Análise de Sensibilidade para o Cenário B	59
Tabela 3.18 - Análise de Sensibilidade para o Cenário C	60
Tabela 4.1 - Intervalos de Valores das Constantes de Escala Obtidos com Método <i>FITradeoff</i> – Cenário A.....	71
Tabela 4.2 - Intervalos de Valores das Constantes de Escala Obtidos com Método <i>FITradeoff</i> – Cenário B	71
Tabela 4.3 - Intervalos de Valores das Constantes de Escala Obtidos com Método <i>FITradeoff</i> – Cenário C	72
Tabela 4.4 - Resultados <i>Tradeoff</i> versus <i>FITradeoff</i> no Cenário A	73
Tabela 4.5 - Resultados <i>Tradeoff</i> versus <i>FITradeoff</i> no Cenário B.....	73
Tabela 4.6 - Resultados <i>Tradeoff</i> versus <i>FITradeoff</i> no Cenário C.....	74

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (2.1).....	21
Equação (2.2).....	21
Equação (2.3).....	26
Equação (3.1).....	50
Equação (3.2).....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analythic Hierarchy Process	29
ANP	Analytic Network Process	30
AR&D	Agriculture Research and Deveopment	27
CDSID	Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão	51
DEA	Data Envelopment Analysis	30
DEMATEL	Decision Making Trial and Evaluation Laboratory	30
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant La Realité	33
FITradeoff	Método Flexível e Interativo Tradeoff	24
LPP	Linear Programming Problems	24
MAVT	Multi-Attribute Value Theory	21
MCDM/A	Multi-Criteria Decision Making/Aiding	20
OWA	Ordered Weight Aggregation	29
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations	33
QFD	Quality Function Deployment	30
SAD	Sistema de Apoio a Decisão	17
TOPSIS	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution	29
VIKOR	ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos do Trabalho	18
1.2.1	Objetivo Geral	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
1.3	Estrutura do Trabalho.....	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1	Fundamentação Teórica	20
2.1.1	Decisão Multicritério.....	20
2.1.2	Elicitação de Preferências	22
2.1.3	Procedimento de Elicitação das Constantes de Escala <i>Tradeoff</i>	25
2.2	Revisão da Literatura	27
2.2.1	Pesquisa e Desenvolvimento no Setor Agropecuário.....	27
2.2.2	Métodos Multicritério para Seleção de Fornecedores	28
2.2.3	Métodos Multicritério em Pesquisa Agropecuária	30
2.3	Síntese do Estado da Arte	32
3	MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO	34
3.1	Descrição Geral do Problema de Decisão e de seu Contexto.....	34
3.2	Construção do Modelo de Decisão Multicritério Básico.....	39
3.2.1	Etapa 1: Caracterização de Decisor(es) e Outros Atores	39
3.2.2	Etapa 2: Identificação dos Objetivos.....	40
3.2.3	Etapa 3: Estabelecimento de Critérios.....	41
3.2.4	Etapa 4: Estabelecimento de Ações e Problemática.....	46
3.2.4.1	<i>Características do Cenário A</i>	47
3.2.4.2	<i>Características do Cenário B</i>	48
3.2.4.3	<i>Características do Cenário C</i>	48
3.2.5	Etapa 5: Identificação de Fatores Não Controlados	49
3.2.6	Etapa 6: Modelagem de Preferências	49
3.2.7	Etapa 7: Avaliação Intracritério	50
3.2.8	Etapa 8: Avaliação Intercritério	51

3.2.8.1	Avaliação Intracritério no Cenário A	54
3.2.8.2	Avaliação Intracritério no Cenário B	54
3.2.8.3	Avaliação Intracritério no Cenário C	55
3.2.9	Etapa 9: Avaliação de Alternativas	55
3.2.9.1	<i>Avaliação de Alternativas no Cenário A</i>	56
3.2.9.2	<i>Avaliação de Alternativas no Cenário B</i>	57
3.2.9.3	<i>Avaliação de Alternativas no Cenário C</i>	57
3.2.10	Etapa 10: Análise de Sensibilidade	58
3.2.10.1	<i>Análise de Sensibilidade no Cenário A</i>	58
3.2.10.2	<i>Análise de Sensibilidade no Cenário B</i>	59
3.2.10.3	<i>Análise de Sensibilidade no Cenário C</i>	60
3.2.11	Etapa 11: Análise dos Resultados e Recomendação	60
3.2.12	Etapa 12: Implementação da Decisão	61
3.3	Discussão dos Resultados	61
3.4	Considerações Finais	63
4	VARIAÇÕES NO MODELO DE DECISÃO BÁSICO	66
4.1	Modelo de Decisão com FITradeoff	66
4.1.1	Aplicação do Método <i>FITradeoff</i>	68
4.1.2	Comparação entre Métodos.....	72
4.1.2.1	<i>Comparação de Tradeoff com FITradeoff no Cenário A</i>	73
4.1.2.2	<i>Comparação de Tradeoff com FITradeoff no Cenário B</i>	73
4.1.2.3	<i>Comparação de Tradeoff com FITradeoff no Cenário C</i>	74
4.2	Considerações Finais	75
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
5.1	Conclusões	77
5.2	Limitações e Sugestões para Trabalhos Futuros	78
	REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento aplicados no setor agrícola levam a adotar melhores práticas e políticas, que contribuem para a redução da pobreza (THORNTON *et al.* 2017). Os resultados de tais investimentos junto com a implementação de novas tecnologias incrementam a produtividade agrícola (WEICK, 2001), impulsionando o agronegócio e o crescimento econômico nos países em desenvolvimento (TAN *et al.*, 2006).

Considerando que a produtividade agrícola depende criticamente dos investimentos que promovem a inovação (LINDNER, 2005), algumas empresas de pesquisa agrícola estão permitindo aplicação de novas tecnologias para fortalecer a cadeia de abastecimento, melhorar os produtos ofertados e reduzir custos, com o objetivo de permanecer competitivas no mercado (ADENLE, MANNING & AZADI, 2017). O sucesso de tais ações depende do desenvolvimento e da transferência de tecnologias (LINDNER, 2005) e exige um investimento contínuo de capital por um longo período de tempo (KIM, KIM & JEON, 2008). Os investimentos em equipamentos técnicos, por exemplo, envolvem todo um processo de tomada de decisão de compra relacionado com custos gerais de produção, qualidade, inovação, flexibilidade e o perfil de risco de uma empresa (KAUFMANN & GAECKLER, 2015). Para ilustrar que investimentos em equipamentos enriquecem e aumentam a produção agrícola (PROST *et al.* 2017), Adenle, Manning & Azadi (2017) referem o caso da maior parte dos países africanos, nos quais faltam equipamentos de laboratório para avaliação e certificação, bem como péssimas condições dos existentes, que dificultam a participação dos produtos agrícolas desses países na cadeia de suprimentos global.

Por outro lado, a constante expansão de organizações de dedicadas a realizar ensaios e medições (HU *et al.* 2012), tornaram necessário a centros e institutos de pesquisa um sistema adequado de avaliação e análise para que os resultados dos projetos atinjam um nível razoável, proporcionando assim um ambiente sustentável para que pesquisadores promovam o desenvolvimento do conhecimento (VARMAZYAR, DEGHANBAGHI & AFKHAMI, 2016). Da mesma forma, e dada a preocupação com os altos custos de aquisição, faz-se necessário desenvolver e implementar um processo confiável de compras para garantir a assertividade nos materiais, produtos, logística e negócios da organização, levando à melhoria de sua competitividade (REZAEI *et al.* 2016; SCOTT *et al.* 2015). Isto significa desenvolver estratégias para acompanhar as constantes mudanças tecnológicas, de mercado e de processos,

evoluindo de acordo com as preferências comerciais e o desenvolvimento de modernos modelos de negócios; inclusive, a importância das relações comerciais convencionais é a base para os processos de aquisição atuais (VITASEK, 2016). Neste ponto, a seleção de fornecedores chega a ser considerada como uma das principais dificuldades encaradas pelos gerentes de operações e compras para manter a competitividade organizacional (BAI & SARKIS, 2010). Esses tipos de problema têm como objetivo selecionar o melhor fornecedor entre um conjunto de opções potenciais satisfazendo certos requisitos, embora sujeito a algumas limitações (HOSSEINI & BARKER, 2016).

Da mesma forma, à medida que o tempo avança, as organizações buscam que seus processos de tomada de decisão consigam manter um nível de qualidade consistente e de melhoria contínua com maior ponderação e desenvolvimento de atributos relevantes para sua direção estratégica (BAI & SARKIS, 2010). Como resultado, diversas abordagens multicritério têm sido utilizadas para avaliar o desenvolvimento sustentável, com resultados positivos em aplicações práticas (CHANG & DONG, 2016).

Os modelos MCDM/A desenvolvidos para a gestão de recursos agrícolas exigem muitas vezes informações completas de preferências para levar a uma solução (HAYASHI, 1998). No entanto, considerando as dificuldades na obtenção e interpretação dos dados disponíveis, os procedimentos para estabelecer os valores dos pesos dos critérios tendem a serem demorados e difíceis de compreender (HAYASHI, 2000). Por isso, é necessário desenvolver métodos que considerem essas características e permitam que a elicitação de preferências seja de fácil interpretação e no possível incluir métodos mais gráficos e de melhor visualização (ANANDA & HERATH, 2009).

Com base no que foi descrito anteriormente, esta pesquisa apresenta um modelo de apoio à decisão multicritério desenvolvido a partir do *framework* proposto por De Almeida (2013) para seleção de fornecedores de equipamentos laboratoriais para pesquisa agropecuária. São considerados os equipamentos utilizados em laboratórios de análise física, química e microbiológica, necessários para desenvolver projetos de pesquisa agropecuária. O modelo será aplicado em uma empresa dedicada à pesquisa agropecuária cujo objetivo é desenvolver e executar atividades de pesquisa e transferência de processos de inovação tecnológica ao setor agropecuário.

Neste trabalho foram levados em consideração os benefícios de empregar uma metodologia multicritério na escolha de fornecedores, a fim de selecionar e avaliar a alternativa com melhor desempenho entre um conjunto de opções disponíveis.

1.1 Justificativa

A principal justificativa para o desenvolvimento desta pesquisa está focada em três aspectos principais descritos a seguir.

O primeiro está baseado no fato de que a seleção dos fornecedores é um componente vital dentro das estratégias da empresa para superar as deficiências que impedem à empresa de concorrer eficazmente (SLACK, CHAMBERS & JHONSTON, 2002; AMID, GHODSYPOUR & O'BRIEN, 2009). Assim, o tema tem destaque, já que trata de uma das atividades mais críticas para as empresas no que concerne ao ganho de vantagens competitivas e atingimento de objetivos da cadeia de suprimentos (ROUYENDEGH & SAPUTRO, 2014), sendo, por conseguinte, a atividade mais importante para o departamento de compras (TING & CHO, 2008). Esse tipo de decisão está focada na escolha do fornecedor que atenda a todas as demandas de compradores e executivos, resultando em um processo estratégico mais longo e complexo (WETZSTEIN *et al.* 2016). Isso explica por que esse é um dos temas mais estudados na literatura de gestão, sendo possível encontrar diversos modelos de tomada de decisão com o intuito de resolvê-lo (DE ALMEIDA *et al.* 2016).

O segundo ponto está relacionado com a análise econômica encontrada na literatura para o investimento em tecnologia no setor agrícola. Embora a inovação combine diferentes aspectos, como organizacionais, econômicos e sociais (LAMPRINOPOULOU *et al.* 2014), grande parte do foco da literatura agrícola envolve métodos baseados em orçamentos e avaliações econômicas, bem como análise de parâmetros financeiros, contabilidade de sistemas e custos (DIMOVA, SEVASTIANOV & SEVASTIANOV, 2006; KUEHNE *et al.* 2012; MARDANI *et al.* 2015; SOHN, JEON & HAN, 2015). Os processos de tomada de decisão são principalmente influenciados pelos custos iniciais de compra, que aumentam rapidamente devido ao constante desenvolvimento tecnológico (KIM, KIM & JEON 2008) dificultando a adoção de tecnologia mais avançada, apesar do seu benefício potencial (TAN *et al.* 2006). É clara a necessidade de investir em tecnologia para pesquisa agropecuária, no entanto faltam estudos que orientem sobre a avaliação objetiva de outros fatores além dos econômicos, que influenciam no aproveitamento dos recursos empresariais desde uma perspectiva administrativa.

A última questão considera a avaliação das preferências do decisor e a informação indicada por ele para tomar uma decisão. Existem modelos que propõem selecionar fornecedores sem considerar os interesses reais do comprador (MOHAMMADITABAR,

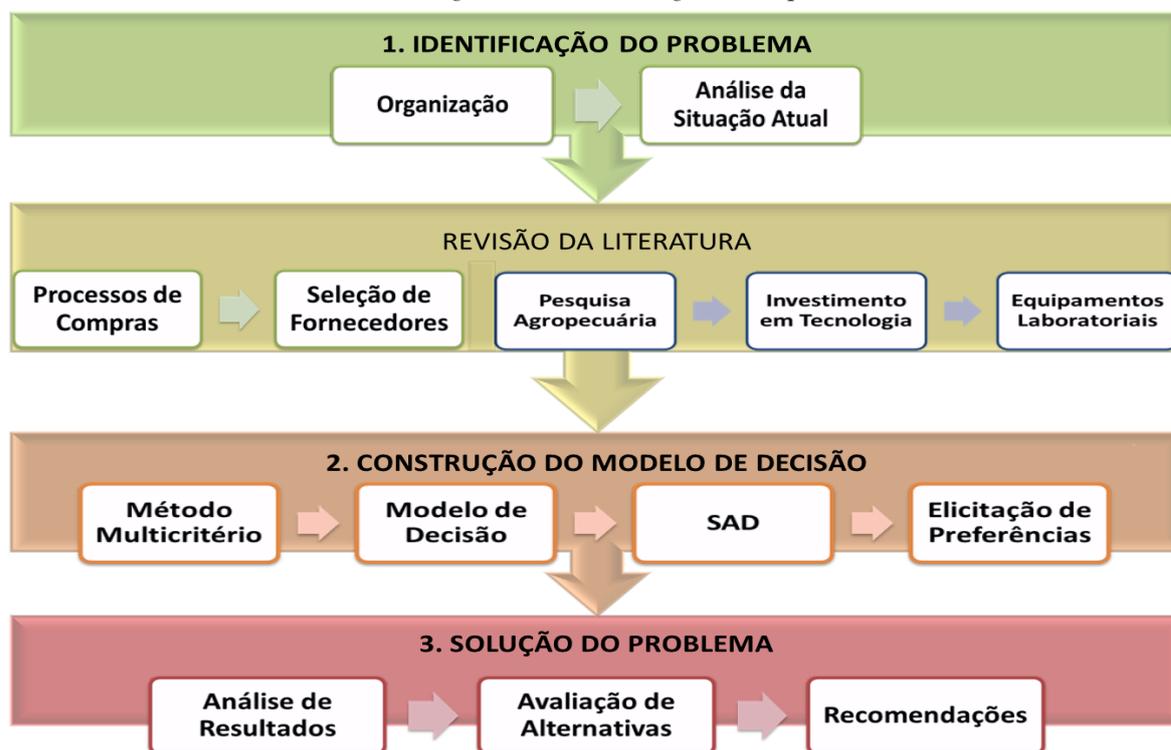
GHODSYPOUR & HAFEZALKOTOB, 2016). A decisão final quanto ao problema de seleção de fornecedores influencia outros processos dentro de uma mesma organização, tais como compras, produção ou qualidade, tornando-se imperativo melhorar o desempenho dessas funções através de processos estruturados em tomada de decisão (JUNIOR, OSIRO & CARPINETTI, 2013). Igualmente, a escolha da alternativa certa envolve muito mais do que a digitalização de uma série de listas de preços e as escolhas dependem na verdade de diferentes fatores quantitativos e qualitativos (HO, XU & DEY, 2010). Esses fatores refletem nas decisões do decisor, no entanto, é importante desenvolver ferramentas que permitam alinhar objetivamente as decisões de compras com os objetivos da empresa. Por isso, nesta pesquisa, busca-se uma ferramenta para a tomada de decisão que permita ao decisor analisar suas preferências de escolha e refletir tais avaliações em processos objetivos de tomada de decisão. E que ao mesmo tempo ofereça facilidade em termos de agilidade do processo e confiabilidade do resultado obtido.

Em síntese, existem diversas publicações para seleção de fornecedores, mas poucas realmente com estudos práticos que refletem as preferências reais do decisor para o problema avaliado. A literatura ainda é insuficiente quanto à análise de processos de decisão que influem nos investimentos de atividades de pesquisa no nível de laboratórios.

Fundamentado na análise anterior, a presente dissertação está focada na construção de um modelo de decisão multicritério para selecionar a melhor opção de fornecedores de equipamentos laboratoriais utilizados em pesquisa agropecuária, avaliando parâmetros técnicos críticos relacionados ao funcionamento do equipamento, que não são frequentemente explorados no contexto agrícola (IVLEV, VACEK & KNEPPO, 2015). Depois de analisar a situação atual da empresa estudada e os trabalhos existentes na literatura, foi identificado que se trata de um problema de decisão que pode ser resolvido através de um modelo baseado em métodos multicritério, apoiado em Sistemas de Apoio à Decisão (SAD). A metodologia de pesquisa aplicada nesta dissertação está representada na Figura 1.1.

É importante esclarecer que o processo decisório descrito neste estudo não será abordado desde um contexto de decisão em grupo, mas analisando as preferências e resultados individuais de cada uma das pessoas em capacidade de decidir ante uma eventual compra de equipamentos laboratoriais.

Figura 1.1 – Metodologia de Pesquisa



Fonte: O Autor.

1.2 Objetivos do Trabalho

1.2.1 Objetivo Geral

Propor um modelo de apoio à decisão multicritério para seleção de fornecedores de equipamentos laboratoriais para pesquisa agropecuária.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Construir o modelo de decisão, de acordo com as etapas recomendadas por De Almeida (2013).
- Comparar duas abordagens de elicitación de constantes de escala: pelo procedimento *Tradeoff* proposto por Keeney&Raiffa (1993) que exige informações completas sobre os pesos dos critérios e a outra, com base no método *FITradeoff*, que requer apenas informações parciais para obter soluções comuns finais.
- Avaliar o modelo de decisão sob a perspectiva de diferentes decisores, através de diferentes cenários de compra de equipamentos, considerando critérios técnicos e econômicos.

- Avaliar a funcionalidade do SAD através da aplicação do modelo em uma empresa que esteja dentro do foco do problema de pesquisa.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em cinco (5) capítulos, conforme explicitado a seguir:

O Capítulo 1, a Introdução, apresenta as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho e os objetivos do estudo. Destacam-se, neste capítulo os pontos que motivaram a escolha de propor um modelo de decisão baseado em abordagem multicritério.

No Capítulo 2, apresenta-se a fundamentação teórica, indicando os conceitos gerais de decisão multicritério e procedimentos de elicitação de preferências. Neste capítulo também se apresenta a revisão da literatura e o estado da arte com as principais contribuições encontradas na literatura para o tema abordado.

Já no Capítulo 3 é apresentado o modelo de decisão multicritério proposto, constituindo a parte principal deste trabalho, pois nele encontram-se a explicação passo a passo da construção do modelo, o processo de elicitação das preferências e a utilização do SAD, além da aplicação em uma empresa, sendo apresentados e analisados os resultados obtidos.

Por sua vez, o Capítulo 4 considera as modificações necessárias para superar as dificuldades encontradas no modelo de decisão desenvolvido no capítulo três (3), assim como uma comparação entre tais variações.

Finalmente o Capítulo 5 encerra a pesquisa apresentando as principais conclusões e contribuições de todo o trabalho, e do modelo proposto, destacando também quais são as sugestões para trabalhos futuros, que surgiram a partir do desenvolvimento da presente dissertação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo aborda alguns dos principais conceitos sobre decisão multicritério para que se entenda melhor o contexto do trabalho, assim como as principais contribuições da literatura para seleção de fornecedores, equipamentos de laboratório e pesquisa agropecuária.

2.1 Fundamentação Teórica

A seguir será apresentada a base conceitual utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, que consiste em decisão multicritério e elicitación de preferências, como base para os temas abordados nas subseções seguintes.

2.1.1 *Decisão Multicritério*

Primeiramente, convém esclarecer que um método de decisão multicritério (*Multi-Criteria Decision Making/Aiding* - MCDM/A) consiste numa formulação metodológica ou teoria que pode ser usada para construir um modelo de decisão aplicável a diferentes situações reais (DE ALMEIDA, 2013). Nesse sentido, um modelo é desenvolvido com base em algum método de apoio à decisão (DE ALMEIDA *et al.* 2015).

MCDM/A pertence à categoria de métodos de decisão quantitativa, em que um conjunto de abordagens permite, de forma explícita, ordenar, classificar, selecionar ou comparar diferentes alternativas com base em múltiplos critérios (VINCKE, 1992; BELTON & STEWART, 2002). Pelo menos duas questões se aplicam a este contexto: a forma do modelo de agregação de critérios e a metodologia empregada para definir os parâmetros do modelo (ZOPOUNIDIS & DOUMPOS, 2002).

Os critérios, também chamados atributos, são a representação dos objetivos em um processo de decisão (DE ALMEIDA, 2013) e a forma através da qual esses critérios podem interagir entre si define a classificação da racionalidade do decisor como compensatória ou não compensatória (BOUYSSOU, 1986; FIGUEIRA, MOUSSEAU & ROY, 2005). Sob essa perspectiva, a escolha de um método de agregação equivale à escolha do tipo de compensação entre critérios. Métodos compensatórios são aplicáveis a situações em que um mau desempenho de uma alternativa em um critério pode ser compensado por um alto desempenho em outro (DE BOER, WEGEN & TELGEN, 1998; DULMIN & MININNO, 2003; AISSAOUI, HAOUARI & HASSINI, 2007). Embora a utilização de regras não

compensatórias seja mais apropriada na pré-seleção das alternativas, uma vez que não existe pressuposto sobre a não compensação de uma opção que não satisfaz um requisito mínimo de um critério, quando os fornecedores qualificados são comparados na fase final do processo decisório a aplicação de regras compensatórias resulta mais adequada (REZAEI *et al.* 2016).

Uma das teorias aplicadas com mais frequência aos problemas multicritério é a teoria do valor multiatributo (*Multi-Attribute Value Theory* - MAVT) (KEENEY & RAIFFA, 1993). A MAVT baseia-se no pressuposto de que, em uma situação de decisão, existe uma função de valor v que representa as preferências do decisor, de modo que quanto mais preferível for uma alternativa, maior será o seu valor numérico associado (SCHOLZ *et al.* 2017). Por sua vez, métodos baseados no modelo aditivo determinístico se baseiam nos princípios de MAVT e são exemplos de métodos fortemente compensatórios, sendo classificados como métodos MCDM/A que agregam os diferentes critérios em um único critério de síntese (VINCKE, 1992; ROY, 1996; DE ALMEIDA, 2013). Métodos baseados no modelo aditivo são muito utilizados na solução de problemas multicritério por oferecerem maior compreensão e robustez metodológica, assim como a possibilidade de reduzir ambiguidade e opiniões subjetivas (DE ALMEIDA, 2013; ANGELIS & KANAVOS, 2016).

No modelo aditivo, tal função é estimada a fim de satisfazer e maximizar o ganho obtido em situações de certeza, assumindo como hipótese o atendimento às condições de independência preferencial e independência em utilidade entre critérios (VINCKE, 1992). Isso implica que as preferências entre ações diferem somente pelos próprios valores de um critério dado, não havendo dependência entre critérios, isto é, as preferências podem ser estabelecidas de acordo com um critério sem precisar se referir a outros (KEENEY & RAIFFA, 1993).

Sob essa perspectiva, a função valor marginal $v_j(x_{ij})$ associa um número real a cada ponto x_{ij} no espaço de avaliação. O valor global $v(a_i)$ de uma alternativa a_i pode ser obtido por meio de uma função valor aditiva ponderada como segue na Equação (2.1), onde v_j são funções valor marginais e x_{ij} é o valor da consequência da alternativa a_i para critério C_j (KEENEY & RAIFFA, 1993; KEENEY & VON WINTERFELDT, 2009).

$$v(a_i) = v(x_{i1}, \dots, x_{in}) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(x_{ij}) \quad \text{Equação (2.1)}$$

Sendo que para as constantes de escala k_j assume-se que:

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

As constantes de escala ou pesos dos critérios são consideradas como um fator de escala que associa os *scores* de um critério às pontuações para todos os outros critérios (RIABACKE, DANIELSON & EKENBERG, 2012). Deste modo, o peso no modelo aditivo não pode ser definido apenas como a importância relativa de cada critério definido, mas há que se examinar também a sua contribuição ao valor total da função (DE ALMEIDA, 2013). Em MAVT é necessário definir valores para os pesos dos critérios a fim de realizar a avaliação de alternativas (KEENEY & RAIFFA, 1993; PARK & SHIN, 2011).

Uma das questões importantes a ser considerada nesse processo é a análise das consequências das alternativas nos critérios, através de uma avaliação intracritério (DE ALMEIDA *et al.* 2015). Tal avaliação está representada pela matriz de decisão sugerida na Tabela 2.1, na qual é possível identificar o desempenho de cada alternativa a_i em cada um dos critérios C_j .

Tabela 2.1 - Matriz de Decisão

Alternativas	Critérios			
	C_1	C_2	...	C_m
a_1	$v_1(x_{11})$	$v_2(x_{12})$...	$v_m(x_{1m})$
a_2	$v_1(x_{21})$	$v_2(x_{22})$...	$v_m(x_{2m})$
...
a_n	$v_1(x_{n1})$	$v_2(x_{n2})$...	$v_m(x_{nm})$

Fonte: Adaptado de De Almeida (2013, p.33)

2.1.2 Elicitação de Preferências

No modelo aditivo, a determinação das constantes de escala dos critérios é uma questão crucial (DE ALMEIDA *et al.* 2016). Dado que essa avaliação é particularmente relevante no procedimento de agregação (sendo considerado um passo crítico para estabelecer as preferências do decisor), a questão da elicitación pode ter um grande impacto sobre quão bem as alternativas de decisão são diferenciadas (DE ALMEIDA *et al.* 2016).

É necessário destacar que todos os procedimentos de elicitación de preferências são compensatórios, ou seja, as informações extraídas sobre os pesos atribuídos pelo decisor implicitamente determinam os *tradeoffs* entre o número de unidades de um critério que ele está disposto a renunciar a fim de aumentar o desempenho de outro critério (VALKENHOEF & TERVONEN, 2016). Entretanto, na realidade o julgamento dos critérios de avaliação de fornecedores depende muito das prioridades e estratégias do negócio, uma vez que quando

são atribuídos pesos arbitrários e subjetivos, os fornecedores selecionados podem não prover o que a empresa precisa exatamente (HO, XU & DEY, 2010). Por exemplo, em diferentes métodos estudados por Dimicet *et al.* (2016), é possível identificar as principais limitações dos métodos tradicionais quando são calculados os pesos dos critérios, porque são baseados na subjetividade do decisor.

Entre os procedimentos estudados na literatura para a elicitación das constantes de escala (WEBER & BORCHERING, 1993) destacam-se: *Ratio*, no qual o decisor ordena os critérios de acordo com a importância percebida por ele; *Swing*, em que o decisor analisa uma alternativa hipotética com o pior desempenho em todos os atributos, e a possibilidade de melhorá-la em apenas um dos critérios para o melhor desempenho, repetindo a avaliação até obter a ordem de importância dos critérios (DE ALMEIDA, 2013); e o *Tradeoff* (KEENEY & RAIFFA, 1993), no qual são comparadas duas alternativas descritas em dois atributos. Este procedimento encontra-se detalhado em (DE ALMEIDA, 2013) e será brevemente descrito na seção 2.1.3.

Existem também outros procedimentos derivados, como o *Simos*, que foi desenvolvido para elicitación de pesos em métodos de sobreclassificação (FIGUEIRA & ROY, 2002), mas tem sido adaptado para MAVT. Embora seja considerada uma ferramenta efetiva para avaliar os pesos dos critérios, resulta em uma quantidade infinita de vetores que ameaçam a aceitabilidade dos resultados (PICTET & BOLLINGER, 2008; SISKOS & TSOTSOLAS, 2015). A integral de *Choquet*, outro método adaptado ao contexto MCDM/A, realiza uma agregação ponderada dos valores dos critérios usando uma função de capacidade que atribui um peso a qualquer coalizão de critérios, permitindo interações entre eles (BENABBOU, PERNY & VIAPPIANI, 2017).

Em um mundo de informações completas e exatas, uma situação de decisão é caracterizada por um conjunto de alternativas, objetivos, distribuição de probabilidade dos resultados e decisores com estrutura de preferências estáveis (WEBER, 1987), representadas em uma função obtida através de elicitación e de valores específicos que reflitam as preferências do decisor (KADDANI *et al.* 2017). Então, se for assumido que o decisor tem preferências bem definidas, independentemente da forma como os pesos são induzidos ou como os atributos são descritos, ele deveria usar suas preferências para responder as questões do procedimento de elicitación e obter um conjunto de pesos (WEBER & BORCHERING, 1993). Não obstante, as declarações imprecisas sobre a importância relativa dos atributos podem dificultar o desenvolvimento de modelos MCDM/A (SALO, & PUNKKA, 2005).

Quando os pesos são obtidos através de métodos algébricos, como os procedimentos *Swing* e *Tradeoff*, muitas vezes são solicitados mais do que o número mínimo de estimativas teóricas (WEBER & BORCHERDING, 1993). Do mesmo modo, o uso de pesos aproximados pode simplificar a decisão multicritério, uma vez que a determinação exata de um conjunto exato de pesos de atributo pode ser demorado e polêmico, como acontece no procedimento tradicional de Keeney&Raiffa (1993), devido a inconsistências e difícil entendimento conceitual pelo decisor, o que tem gerado diversas investigações para obter os pesos mais facilmente (KIRKWOOD & CORNEER, 1993). Igualmente, não é possível utilizar uma metodologia se o decisor não está disposto a indicar suas preferências pelo menos de forma parcial (CARRIZOSA *et al.* 1995). Uma maneira de determinar os pesos dos critérios, contudo incorporando as incertezas que o decisor pode ter na determinação de valores exatos, é estabelecer intervalos para a variação desses parâmetros (MÁRMOL, PUERTO & FERNÁNDEZ, 1998).

Os intervalos de pesos podem ser estabelecidos por meio de relações lineares entre pesos, que podem ser vistas como preferências intercritério (PUERTO *et al.* 2000). Em MCDM/A, problemas de programação linear (*Linear Programming Problems* - LPP) podem ser usados para eleger alternativas não dominadas e potencialmente ótimas de acordo com um conjunto de pesos viáveis (EUM, PARK & KIM, 2001; LEE, PARK & KIM, 2002). Park & Shin, (2011) desenvolveram uma abordagem que estabelece relações de dominância e alternativas potencialmente ótimas, fazendo uso de informações de preferência sobre valores e pesos marginais, utilizando apenas ordenamentos fracos, o que pode levar a resultados inaceitáveis. Recentemente, o método novo Flexível e Interativo *Tradeoff* (*FITradeoff*) para eliciação de pesos com base em informações parciais (DE ALMEIDA *et al.* 2016), foi analisado em diferentes contextos, resultando em uma maneira apropriada para resolver problemas MCDM/A.

Não é fácil para o decisor fornecer dados exatos sobre os valores de *tradeoff* entre critérios porque os pesos exatos são desconhecidos (EUM, PARK & KIM, 2001), o tempo é limitado, ou simplesmente há falta de conhecimento e medo a cometer erros (WEBER, 1987). Então, muitas vezes o decisor é capaz ou só está disposto a indicar informação incompleta sobre as relações de preferência (WEBER, 1987). Nesses casos, a informação disponível é chamada de imprecisa, incompleta ou parcial, e os únicos dados obtidos do decisor consistem em relações lineares, expressando imprecisões a respeito dos pesos, suas combinações ou julgamentos sobre a importância relativa dos critérios (WEBER, 1987;

ATHANASSOPOULOS & PODINOVSKI, 1997; EUM, PARK & KIM, 2001; LEE, PARK & KIM, 2002).

Como resultado, está permitido pensar que não todos os métodos de decisão sob informação parcial fornecem resultados ambíguos, pois de fato, as informações incompletas não são de baixa qualidade (VETSCHERA, 2017). Portanto, forçar o decisor a indicar informações completas pode levar a uma solução enganosa, especialmente quando a informação incompleta é consistente e a informação completa não (UREÑA, *et al.* 2015). Na verdade, outra possibilidade de expandir o uso dos modelos baseados em informação parcial seria levar em consideração que as informações de preferência fornecidas, podem conter erros (VETSCHERA, 2017).

2.1.3 Procedimento de Elicitação das Constantes de Escala Tradeoff

O procedimento *Tradeoff* (KEENEY & RAIFFA, 1993), utilizado para induzir as constantes de escala do modelo aditivo, está baseado em uma forte estrutura axiomática (WEBER & BORCHERDING, 1993; DE ALMEIDA, 2013). Nesse procedimento, o decisor é questionado sobre suas preferências entre duas (2) consequências diferentes, até encontrar aquelas que sejam de igual valor para ele. Essas consequências são hipotéticas e diferem apenas em dois critérios em consideração, mantendo os mesmos valores nos atributos restantes para as duas consequências. O decisor é convidado a escolher uma das alternativas, indicando assim a mais preferível (DE ALMEIDA *et al.* 2016). O passo crítico é ajustar o desempenho do critério até encontrar o ponto de indiferença entre os dois que estão sendo comparados (WEBER & BORCHERDING, 1993).

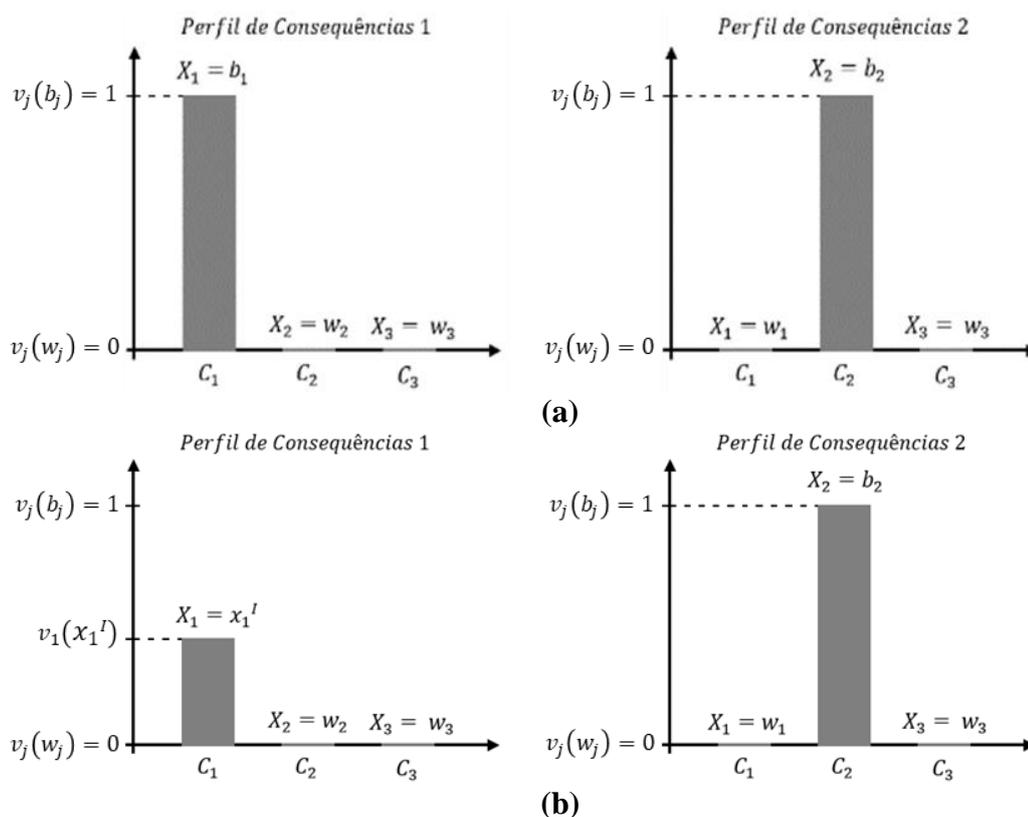
Como resultado, espera-se que o decisor seja capaz de determinar pontos para os quais ele é indiferente entre perfis de consequências hipotéticos. Por exemplo, considerando um problema com três critérios, C_1 , C_2 e C_3 , e a ordenação de suas constantes de escala: $k_1 > k_2 > k_3$. Convenciona-se $v_j(b_j) = 1$ e $v_j(w_j) = 0$, em que v_j é a função valor marginal do critério C_j , e b_j e w_j correspondem, respectivamente, ao melhor e pior valor do espaço de consequências para C_j . Como observado na Figura 2.1(a), no perfil de Consequências 1, o desempenho em C_1 é o melhor possível ($X_1 = b_1$) e os desempenhos nos outros critérios têm o pior valor ($X_2 = w_2$ e $X_3 = w_3$). O perfil de Consequências 2 apresenta melhor desempenho ($X_2 = b_2$) em C_2 (critério adjacente a C_1 na ordenação) e pior desempenho nos outros critérios ($X_1 = w_1$ e $X_3 = w_3$). Aplicando o modelo aditivo da Equação (2.1) para agregar as

consequências de cada perfil, tem-se que o Perfil de Consequências 1 é preferível ao Perfil de Consequências 2, pois $Perfil\ 1 > Perfil\ 2 \Leftrightarrow v(Perfil\ 1) > v(Perfil\ 2)$.

Visto que para $X_1 = b_1$ o Perfil de Consequências 1 é preferível ao Perfil de Consequências 2, o objetivo no procedimento *Tradeoff* é encontrar um valor de consequência $X_1 = x_1^I < b_1$ tal que o decisor seja indiferente entre os dois perfis conforme a Figura 2.1(b), ou seja, um valor $X_1 = x_1^I$ tal que $v(Perfil\ 1) = v(Perfil\ 2)$, levando à relação entre as constantes de escala dos critérios adjacentes indicada na Equação (2.3):

$$k_1 v_1(x_1^I) = k_2 \quad \text{Equação (2.3)}$$

Figura 2.1 - Perfis de Consequências Hipotéticas no Procedimento Tradeoff



Fonte: Rodriguez, Kang & De Almeida (2017).

Para obter n constantes de escala, precisa-se encontrar $n-1$ pares de consequências de igual valor, gerando igualmente n equações (KEENEY & VON WINTERFELDT, 2009), perguntando ao decisor até que todos os pontos de indiferença sejam encontrados. Então, se são considerados n critérios no problema, o decisor precisará especificar um total de $(n - 1)$ pontos de indiferença para os critérios adjacentes na ordenação. As equações obtidas são utilizadas para resolver um sistema de equações lineares em que a n -ésima equação

corresponde à Equação (2.2) de normalização das constantes de escala. Ao invés de perguntar ao decisor os pontos exatos de indiferença x_j^I para todos os critérios, pode-se manipular o nível de X_j até que ele seja capaz de estabelecer o valor x_j^I . Assim, no procedimento *Tradeoff* o decisor precisa responder tantas perguntas quanto forem necessárias para obter todos os pontos de indiferença entre os perfis de consequências hipotéticos, sendo $(n - 1)$ o número mínimo de perguntas necessárias. Este procedimento está amplamente detalhado em (KEENEY & RAIFFA, 1993; DE ALMEIDA, 2013).

2.2 Revisão da Literatura

Nesta parte, são ressaltados os aspectos mais relevantes sobre pesquisa e desenvolvimento no setor agropecuário, métodos de apoio à decisão multicritério em seleção de fornecedores e em pesquisa agropecuária, bem como as contribuições de pesquisas relacionadas.

2.2.1 Pesquisa e Desenvolvimento no Setor Agropecuário

Os recursos de financiamento aos programas de pesquisa estão tendo um impacto considerável no caminho em que a pesquisa agrícola é concebida, planejada, implementada e avaliada, gerando o desafio de equilibrar a necessidade de fazer grande ciência com a necessidade de impacto em escala dentro da organização (THORNTON *et al.* 2017).

Hayashi (2000) indica que a pesquisa e desenvolvimento agrícola (*Agriculture Research and Development - AR&D*), deve ser conduzida com base em um único critério de eficiência econômica para maximizar os benefícios obtidos para o país. Igualmente, de acordo com Pollard *et al.* (2004), a maioria dos projetos requer uma rápida recuperação econômica, e os prazos curtos forçam a tomada rápida de decisões, muitas vezes sendo realizada uma fraca análise de dados. Para Knight, Tu & Preston (2014), os líderes de compras concentram a tomada de decisão sobre habilidades, conhecimento, variação de estratégia corporativa ou estrutura organizacional e contexto empresarial, não considerando fatores técnicos no longo prazo.

De um ponto de vista diferente, Fuglie (2016) afirma que as instituições públicas dedicadas a pesquisa agrícola focam suas atividades em pesquisas básicas de caráter científico e tecnológico. Igualmente, um estudo feito por Potts & Kastle (2017) afirma que os pesquisadores tendem a trabalhar em projetos voltados para laboratórios. Porém, a produção agrícola está limitada em experimentação, investimento e inovação institucional devido a

restrições em tecnologia e falta ou baixa qualidade de infraestrutura e ativos (SCHUT *et al.* 2016). Apesar disso, as recentes publicações relacionadas com AR&D avaliam particularmente o retorno sobre o investimento desde uma óptica econômica e geográfica, como no trabalho de Alston&Parley (2016), que analisa o papel da AR&D desde uma dimensão econômica e adverte que faltam estudos para estimar o rendimento real de investimento e alocação de recursos para pesquisas; Anik, Rahman&Sarker (2017) concluíram que o investimento em AR&D destinado a melhorar as tecnologias de produção e modernização agrícola, contribui para o crescimento da produtividade agropecuária; já Van Oort *et al.* (2017) analisaram locais e cultivos para priorizar o investimento de recursos de AR&D, a partir do rendimento e produtividade da água, baseados em fatores econômicos e sociais.

2.2.2 *Métodos Multicritério para Seleção de Fornecedores*

A seleção de fornecedores é descrita como um dos processos mais significativos na função de compras e abastecimento, sendo amplamente entendida como uma responsabilidade de gestão crucial em que a decisão está focada em escolher apenas o fornecedor que atenda a todas as demandas de compradores e executivos, o que pode ser um processo estratégico complexo (WETZSTEIN *et al.* 2016). Por isso é um dos temas associados com processos de decisão (AKTIN & GERGIN, 2016).

Existem muitos trabalhos na literatura sobre seleção de fornecedores, tanto conceituais quanto empíricos (AISSAOUI, HAOUARI & HASSINI, 2007), demonstrando a importância deste assunto. Uma importante revisão da literatura apresentada por Ho, Xu&Dey (2010) aponta as principais abordagens de tomada de decisão multicritério na seleção de fornecedores, com base em publicações de 2000 a 2008. Do mesmo modo Chai, Liu &Ngai, (2013) fornecem uma revisão da literatura em artigos publicados de 2008 a 2012, voltada em particular aos métodos de utilidade multiatributo, sobreclassificação, entre outros métodos. Um estudo geral de artigos publicados desde 1990 até 2015 explica que as abordagens matemáticas orientam os trabalhos mais destacados no tema (WETZSTEIN *et al.* 2016).

De acordo com Georgiadis, Mazzuchi&Sarkani (2013), para atingir o objetivo em um processo de tomada de decisão, é necessária uma abordagem que combine a informação quantitativa disponível com o conhecimento mais subjetivo de especialistas. A complexidade adicional é incorporada ao processo devido à natureza multicritério de uma decisão

(AISSAOUI, HAOUARI & HASSINI, 2007), sendo conveniente usar modelos e métodos que levem a decisões de melhor qualidade (ROJAS-ZERPA & YUSTA, 2015).

Diante dessas considerações, embora exista uma diversidade de critérios estimados como importantes, a literatura pode não ter alcançado unanimidade quanto à importância deles e tem demonstrado que se tornaram intangíveis e mais difíceis de serem mensurados (REZAEI *et al.* 2016). Os 23 critérios para problemas de seleção de fornecedores apresentados por Dickson (1966), incluindo qualidade, custo, nível de serviço e *lead time*, entre outros, ainda cobrem a maioria dos apresentados na literatura e estabelecem os critérios básicos utilizados (WEBER, CURRENT & BENTON, 1991) para conceituar o desempenho de compras e como efeito, vinculam as avaliações de desempenho do fornecedor (NAIR, JAYARAM & DAS, 2015). No entanto, a abordagem tradicional para seleção de fornecedores tem sido apenas a pesquisa a partir da visão econômica do custo de transação ou visão organizacional, geralmente omitindo fatores tecnológicos que têm um profundo impacto no problema (LIN, 2016); ou que buscam maximizar a utilidade esperada (BRITO & DE ALMEIDA, 2012). A pesquisa de marketing feita por Cui (2016) também ressalta que os clientes são frequentemente indiferentes a certas especificações e estão dispostos a aceitar produtos com critérios menos desejáveis em troca de descontos nos preços, o que explica que o conjunto de necessidades requeridas deve ser equilibrado em termos de pesos de critérios, em casos de alternativas múltiplas.

Para entender melhor a interação de racionalidade e intuição nos contextos de seleção de fornecedores e como se relacionam com os resultados da decisão, diferentes configurações de processamento racional, empírica e emocional podem ser distinguidas (CARTER, KAUFMANN & WAGNER, 2017). Alguns dos métodos multicritério disponíveis estão relacionados com *score*, pesos e agregação, cujas técnicas de análise principalmente conectam o julgamento de valor com os processos de elicitação de preferências, e a eleição de técnicas depende do método adotado na construção da função valor (ANGELIS & KANAVOS, 2016).

A maior parte dos últimos estudos sobre seleção de fornecedores está baseada em informação completa (CHANG *et al.* 2016). Podem-se citar os trabalhos de: Kar (2015), que integrou a teoria *fuzzy* ao método AHP (*AnalythicHierarchyProcess*) e a trabalhos de redes neuronais para apoio à decisão em grupo; Igoulalene, Benyoucef&Tiwari (2015), que indicaram duas abordagens híbridas *fuzzy* com TOPSIS (*Technique for OrderofPreferencebySimilarityto Ideal Solution*), OWA (*OrderedWeightAggregation*) e modelos de programação por metas; Youet *al.* (2015), que propuseram o método intervalo 2-

tuple linguístico VIKOR (*Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*) sob incerteza e informação incompleta; por último, o trabalho de Karsak&Dursun (2014) combinou QFD (*QualityFunction Deployment*) e DEA (*Data EnvelopmentAnalysis*) e realizou aplicação no setor da saúde.

Igualmente, o conceito de informação parcial tem sido o alvo de pesquisadores nos últimos 20 anos, analisando assuntos específicos para diferentes tipos de relações de preferências (UREÑA *et al.* 2015). Os primeiros estudos foram para decisão sob incerteza com informação parcial nas probabilidades, tendo sido posteriormente aplicados à área de MCDM/A (KADDANI *et al.* 2017). Assim, alguns dos estudos focados em informação parcial para seleção de fornecedores consideram modelos híbridos *fuzzy*-AHP. Combinações de outras técnicas de apoio à decisão também têm sido empregadas (DUMAN *et al.* 2017). Deng *et al.* (2014) estenderam o método AHP para usar *D-number*; Sun, Huang &Miao (2015) adotaram métodos DEMATEL (*DecisionMakingTrialandEvaluationLaboratory*), ANP (*Analytic Network Process*), TOPSIS e teoria D-S especialmente para resolver o problema de seleção de fornecedores em uma empresa de grandes equipamentos, partindo de informações incompletas; Xu *et al.* (2015) desenvolveram um procedimento que utiliza o AHP para decisão em grupo com relações de preferência incompletas em intervalos *fuzzy* para cadeias de abastecimento; já Mavi, Goh &Mavi (2016) utilizaram entropia *Shannon* para os pesos dos critérios e *fuzzy*-TOPSIS para a ordenação dos fornecedores através de um exemplo numérico na área de manufatura.

Sob outra perspectiva, os métodos de sobreclassificação utilizados para resolver problemas de seleção de fornecedores incluem PROMETHEE IV (ALENCAR & DE ALMEIDA, 2011); ELECTRE IV e *VIP Analysis* (ALENCAR & DE ALMEIDA, 2008) e ELECTRE e teoria da utilidade (DE ALMEIDA, 2007). No mesmo contexto, as aplicações realizadas incluem gestão de projetos (ALENCAR, DE ALMEIDA & MOTA, 2007), energia elétrica (FITTIPALDI, SAMPAIO & DE ALMEIDA, 2001) e modelos de decisão em grupo (ALENCAR & DE ALMEIDA, 2010).

2.2.3 Métodos Multicritério em Pesquisa Agropecuária

Os problemas de decisão multicritério na área agropecuária constituem um desafio para os pesquisadores, devido à diversidade de disciplinas científicas envolvidas com objetivos conflitantes que refletem as expectativas da sociedade com respeito a produzir novos e melhores produtos agrícolas e reduzir os impactos ambientais (CRAHEIX *et al.* 2015).

Igualmente, as atividades agropecuárias consideram fatores econômicos, sociais e de meio ambiente, às quais os métodos MCDM/A fornecem uma ferramenta apropriada para a avaliação e classificação de soluções técnicas quando se considera uma ampla diversidade de desempenhos (CRAHEIX *et al.* 2016).

Por essa razão existe um grande número de publicações propondo modelos MCDM/A para resolver problemas de investimento tecnológico (TAN *et al.* 2006), e avaliação de projetos aplicando métodos multicritério discretos como os baseados em utilidade multiatributo ou AHP (HAYASHI, 1998) para resolver desafios econômicos e financeiros (DIMOVA, SEVASTIANOV & SEVASTIANOV, 2006). Porém as principais pesquisas multicritério no setor agropecuário estão relacionadas com gestão do meio ambiente, florestal, de solos e águas, ecossistemas e políticas energéticas (HAYASHI, 2000; ANANDA & HERARTH, 2009). De fato, muitos programas de pesquisa estão atualmente focados em avaliação multicritério de sistemas de cultivo por diversos métodos e abordagens (DEYTIEUX, MUNIER-JOLAIN & CANEILL, 2016).

Uma revisão de métodos MCDM/A com especial referência a planejamento e gestão florestal feita por Ananda & Herath (2009) identificou que os trabalhos teóricos se desenvolveram mais rapidamente do que as aplicações empíricas. Também ressalta que a elicitación de preferências deve ser fácil e inovadora, com métodos mais gráficos e esquemáticos, maior visualização, e apresentações pictóricas, a fim de facilitar o uso mais amplo de MCDM/A e evitar gerar aplicativos matemáticos de difícil entendimento para o decisor. Apesar de outrora ter sido encontrada resistência à aceitação de métodos MCDM/A como uma estrutura válida para analisar os problemas agropecuários, principalmente nos países em desenvolvimento devido a questões como falta de experiência, finanças e tecnologia (ROMERO & REHMAN, 1987), atualmente existe um grande número de aplicações de modelos MCDM/A em agricultura e gestão de recursos naturais. No entanto, eles têm sido mais comumente usados para analisar a tomada de decisões relacionadas ao uso do solo, seguido de zoneamento e gerenciamento de problemas relacionados (PARDO & URIOS, 2016).

As ferramentas de apoio à decisão consideradas na agricultura são projetadas por diversos atores, como associações, institutos de pesquisa e indústrias, que dependem do conhecimento científico agrônomo para produzir modelos como regras ou indicadores de decisão (PROST *et al.* 2017). Contudo, os métodos MCDM/A explorados não consideram os especialistas na tarefa de seleção de equipamentos, nem sua competência para descrever

algumas questões organizacionais e técnicas, relacionadas à definição da necessidade de compra de novos equipamentos ou substituição dos antigos, assim como parâmetros técnicos críticos que garantem sua operação (IVLEV, VACEK & KNEPPO, 2015). Mesmo com os critérios de avaliação baseados em parâmetros quantitativos financeiros, bem como estimativas de especialistas científicas ou tecnológicas (DIMOVA, SEVASTIANOV & SEVASTIANOV, 2006), a imprecisão e a incerteza prevalecem em situações em que as decisões agrícolas são feitas sob pressão de tempo e com dados insuficientes (HAYASHI, 1998).

2.3 Síntese do Estado da Arte

A revisão da literatura aponta as seguintes lacunas com respeito ao uso de métodos MCDM/A em seleção de fornecedores e compra de equipamentos laboratoriais aplicados ao setor agrícola:

i. Ainda que a literatura que trata sobre a adoção de tecnologia agrícola descreve uma grande variedade de fatores que podem influenciar sua adoção, é fraca no fornecimento de ferramentas que permitam que projetos de AR&D usem esse conhecimento; somado a que os estudos existentes estão focados em temas sociais e econômicos, que se bem são de aplicabilidade para recursos naturais, não são abrangentes no interior organizacional, no sentido de indicar formas de melhorar os procedimentos administrativos da empresa (KUEHNE et al. 2012).

ii. O tema MCDM/A está bem estabelecido na literatura, porém oferece estudos limitados quanto a técnicas aplicadas a atividades de pesquisa ou estudos relacionados (DUMAN et al. 2017). Do mesmo modo, as principais aplicações para seleção de fornecedores encontram-se voltadas especialmente a problemas em manufatura, sendo escassas as contribuições a serviços ou pesquisa. Embora existam estudos a respeito de técnicas multicritério para avaliar modelos de valor aditivo, não há muitos estudos práticos em situações reais para testar a aplicabilidade e a facilidade de utilização dos sistemas propostos (HURSON & SISKOS, 2014). Em pesquisa agropecuária, os estudos estão focados em aplicações em campo para solos, água e plantações, não considerando os processos administrativos ligados às decisões de compra, e menos ainda processos internos como manutenção e aspectos como qualidade, que são impactados pela decisão de compra. A essas questões soma-se ainda o fato de que os procedimentos tradicionais para estabelecer as preferências do decisor são difíceis de implementar no mundo real. Assim, o decisor pode

muitas vezes estabelecer somente relações interpretativas, em termos de taxas marginais de substituição entre os critérios (MÁRMOL, PUERTO & FERNÁNDEZ, 1998).

iii. A grande parte dos estudos já realizados desenvolve modelos de decisão que não são adaptáveis às reais necessidades das empresas, porque a maioria deles utiliza como forma de validação a simulação com exemplos puramente numéricos que não foram desenvolvidos a partir de situações reais (JUNIOR, OSIRO & CARPINETTI, 2013). De fato, alguns dos métodos de decisão multicritério mais utilizados, tais como ELECTRE (EliminationEtChoixTraduisant La Réalité), PROMETHEE (Preference Ranking OrganizationMethod for EnrichmentofEvaluations), AHP, TOPSIS ou VIKOR, não são facilmente compreendidos pelo decisor, podendo às vezes, ser mal interpretados (KALISZEWSKI & PODKOPAEV, 2016). Igualmente, também têm sido questionadas as inconsistências geradas por métodos como AHP e seus híbridos, relacionadas à reversão de ordem das alternativas e por considerar os pesos dos critérios somente como grau de importância (JUNIOR, OSIRO & CARPINETTI, 2014).

3 MODELO DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Neste capítulo será apresentado o modelo de decisão multicritério para o problema de seleção de fornecedores aplicado em laboratórios de pesquisa agropecuária. A Seção 3.1 descreve o problema abordado, a seção 3.2 expõe as etapas de construção do modelo de decisão. Já na seção 3.3, são analisadas as dificuldades encontradas nas aplicações e como estas poderiam ser resolvidas através de variações no modelo de decisão elaborado.

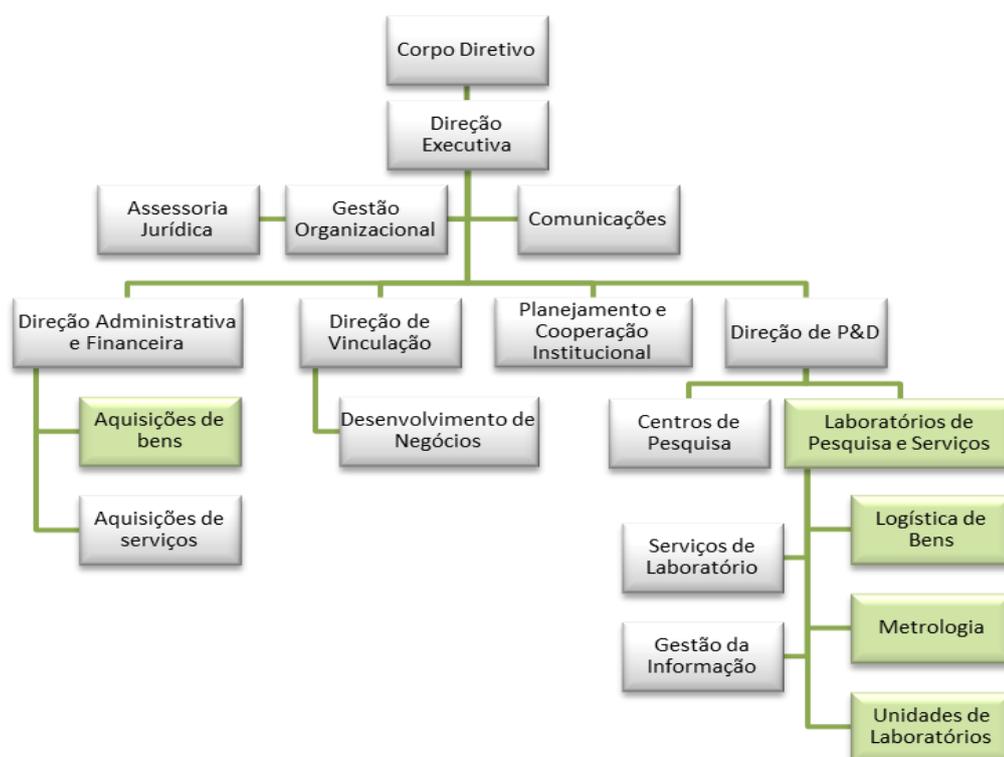
3.1 Descrição Geral do Problema de Decisão e de seu Contexto

As decisões sobre investimento, principalmente em equipamentos de análise, alcançam um alto nível de importância dentro da empresa, tornando mais relevante o processo de decisão de compra e seleção de fornecedores, no qual o resultado influencia diretamente na gestão da cadeia de suprimentos e conseqüentemente na redução de custos, flexibilidade e rentabilidade (TING & CHO, 2008). No entanto, devido à falta de experiência, muitas instituições enfrentam problemas como a gestão descentralizada, falhas nos procedimentos, funções pouco claras, falta de comunicação e supervisão ineficaz no curso de compra, que afetam muito a qualidade e eficiência da aquisição de equipamentos, fazendo necessário fortalecer a gestão padronizada dos procedimentos envolvidos (HU *et al.* 2012). Em suma, avaliar fornecedores de forma adequada contribui para uma melhor utilização dos recursos necessários para o desenvolvimento das atividades de laboratório; isto inclui infraestrutura, equipamentos, materiais e insumos, bem como serviços de análises especializadas para pesquisadores internos e serviços externos para associações do setor. Dessa forma, faz-se necessário avaliar de forma consistente o desempenho de cada fornecedor com respeito a diferentes critérios, a fim de selecionar aquele com melhor desempenho entre um conjunto de alternativas disponíveis.

Para este estudo considerou-se uma empresa colombiana dedicada à pesquisa agropecuária, exercendo na Colômbia papel homólogo ao que a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) desempenha no Brasil. Esta empresa foi selecionada com base na relação de trabalho atual que mantém a autora, cujas funções estão relacionadas com a compra de equipamentos laboratoriais. Este tipo de organizações tem recebido destaque por parte do governo colombiano quanto à alocação de recursos para desenvolvimento e transferência de tecnologias agropecuárias, a fim de melhorar as instalações e conseqüentemente, a qualidade das análises e resultados das pesquisas.

Trata-se de uma entidade mista, sem fins lucrativos, de caráter científico e técnico. Seu objetivo é desenvolver e executar atividades de pesquisa, tecnologia e transferência de processos de inovação tecnológica no setor agropecuário através de vários centros de pesquisa, espalhados por todo o país, onde cada um deles participa de um projeto macro de pesquisa, desenvolvendo produtos e serviços de acordo com a região e a problemática agropecuária local. Embora em seu corpo diretivo estejam envolvidos membros de associações privadas de diferentes setores agrícolas e pecuários, as atividades administrativas são realizadas de acordo com políticas públicas para garantir a transparência na alocação de recursos econômicos. O ponto fundamental deste estudo são os equipamentos de laboratório porque eles abarcam grande parte do orçamento destinado a fortalecer a capacidade de análise dos laboratórios. As compras devem ser realizadas de acordo com as necessidades dos projetos de pesquisa, normas ambientais, governamentais e de qualidade, sendo o processo de compra, responsabilidade do departamento de laboratórios, apoiado por compras (aquisições de bens), cuja hierarquia dentro da empresa está ressaltada no organograma da Figura 3.1.

Figura 3.1 - Organograma da Empresa de Aplicação



Fonte: O Autor.

Convém ressaltar que existem equipamentos de uso exclusivo por cada laboratório. Por exemplo, o laboratório de saúde animal realiza análises de sangue com equipamentos que

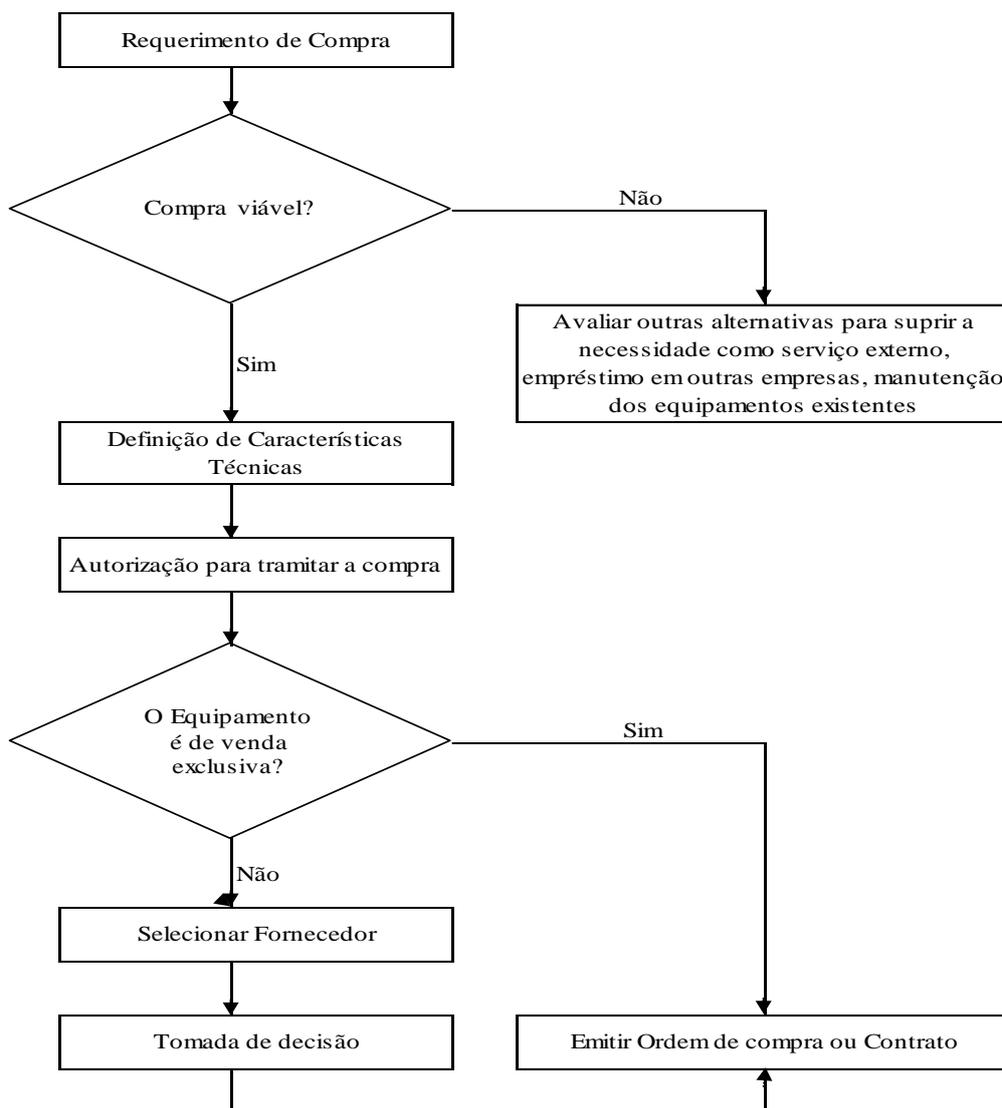
podem ser um foco de contaminação cruzada em outras áreas não relacionadas com amostras animais, pelo qual o uso será independente do laboratório de microbiologia agrícola, sendo também diferentes alguns dos equipamentos utilizados por cada um deles.

O objetivo dos laboratórios é garantir a disponibilidade dos recursos necessários para o desenvolvimento dos projetos de pesquisa a nível de laboratório; isto inclui infraestrutura, equipamentos, materiais e insumos, além de serviços de análise especializados para pesquisadores internos e serviços externos para associações do setor agropecuário. Os laboratórios estão agrupados de acordo com a natureza de suas atividades, resultando em várias unidades de análise, entre elas o laboratório de análise química, de produção vegetal, microbiologia, saúde animal e análise molecular. Alguns deles trabalham seguindo boas práticas laboratoriais enquanto outros estão acreditados e certificados em normas de qualidade.

A compra de equipamentos laboratoriais acontece de acordo com as necessidades dos projetos de pesquisa. Uma vez realizado o requerimento de um novo equipamento na plataforma *intranet*, o profissional de logística de bens recebe o pedido e avalia a viabilidade de compra em relação a equipamentos existentes em outros laboratórios ou centros de pesquisa; caso for autorizada a compra, são avaliadas as características técnicas do equipamento a ser comprado junto com o profissional de metrologia e o chefe do respectivo laboratório; finalmente a compra do equipamento continua, conforme o procedimento da organização, pelo analista de compras; dependendo das especificações no requerimento de compra, ele pode tomar a decisão final, ou pedir para o Departamento de Laboratórios decidir. O procedimento geral de compra mostrado na Figura 3.2 indica quando acontece o processo de tomada de decisões para seleção de fornecedores.

Durante o processo decisório que a empresa realiza, não existe uma metodologia estruturada para avaliar os critérios, nem as preferências reais da compra a ser realizada, fazendo com que cada escolha aconteça de forma subjetiva, resultando em problemas posteriores à compra como: aquisição de equipamentos sem qualidade nem garantia, falhas técnicas de origem, fornecedores sem conhecimentos de manutenção por inexperiência na venda dos equipamentos, violação dos prazos de entrega e normas de qualidade, atrasos nas atividades de pesquisa, trabalhos adicionais para as áreas de metrologia ou manutenção e compras com valores superiores ao valor normal do mercado.

Figura 3.2 - Procedimento de Compra de Equipamentos

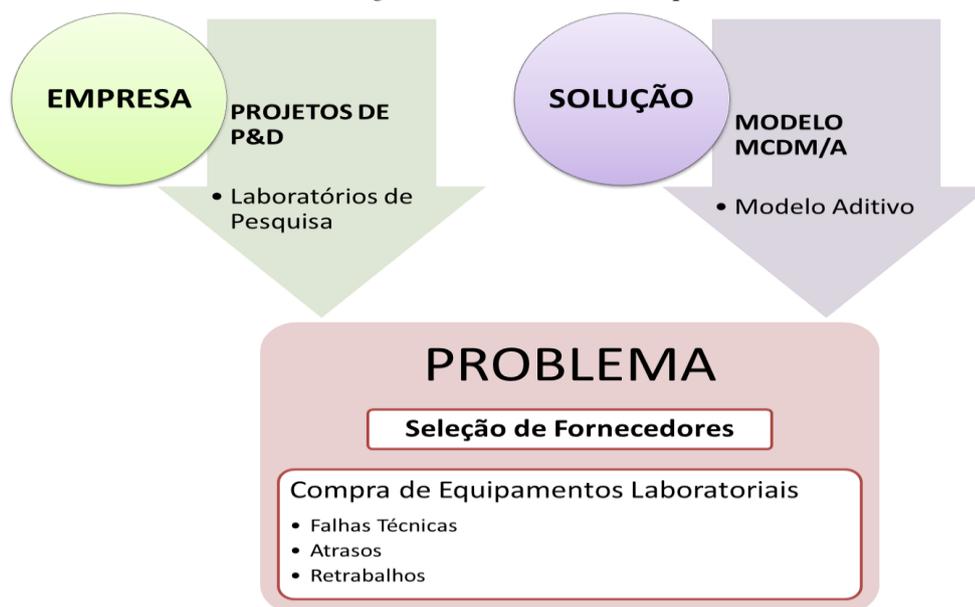


Fonte: O Autor.

Diante de tal situação, o departamento de laboratórios mostrou interesse em avaliar metodologias para melhorar a seleção de fornecedores e consequentemente os processos de compra, metrologia, manutenção, qualidade e atividades de laboratório, além da possibilidade de implementar um processo estruturado de tomada de decisões adaptado às necessidades reais da organização.

Uma visão geral do problema de decisão é ilustrada na Figura 3.3.

Figura 3.3 - Problema de Pesquisa



Fonte: O Autor.

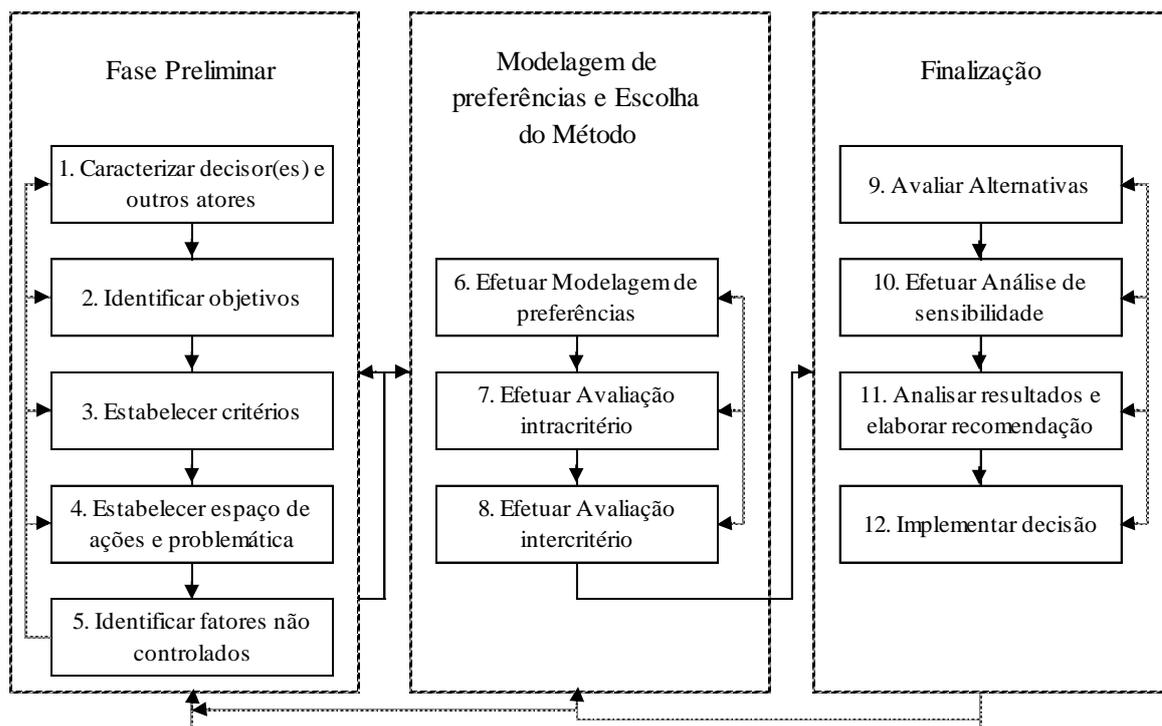
Tomando como base os processos de seleção de fornecedores e compra de equipamentos efetuados previamente pela empresa, definiram-se três (3) cenários para aplicação do modelo de decisão multicritério. Com o intuito de avaliar as preferências do decisor em diferentes casos de compra de equipamentos laboratoriais e de acordo com as políticas de compras da empresa estudada, foram agrupados dentro de cada cenário, equipamentos laboratoriais pertencentes à mesma faixa de preço que compartilham características técnicas comuns: No cenário **A** consideram-se equipamentos laboratoriais denominados básicos ou de apoio e corresponde à menor faixa de preços, isto é, compreende equipamentos com preço inferior a COP\$¹ 3 milhões; os equipamentos incluídos no cenário **B** têm preços variando de COP\$ 15 a COP\$ 30 milhões e, finalmente, no cenário **C** encontram-se equipamentos mais caros, com preços acima de COP\$ 150 milhões. A divisão por cenários permite ao decisor comparar objetivamente as alternativas sob escalas similares de avaliação, visto que não faria sentido comparar a compra de um equipamento que custa \$3 milhões com outro que custa \$150 milhões, pois as propriedades técnicas, frequência de uso e usuários de cada classe de equipamentos é diferente. As características de cada um dos cenários definidos serão aprofundadas posteriormente.

¹ COP: Peso colombiano

3.2 Construção do Modelo de Decisão Multicritério Básico

A construção do modelo de decisão multicritério proposto neste trabalho segue as etapas do procedimento desenvolvido por De Almeida (2013), composto por 12 etapas distribuídas em três fases, como representado na Figura 3.4.

Figura 3.4 - Procedimento para Resolução de um Problema de Decisão



Fonte: De Almeida (2013, p. 165).

3.2.1 Etapa 1: Caracterização de Decisor(es) e Outros Atores

Nesta etapa foi definido o decisor com envolvimento direto, sendo o diretor dos laboratórios de pesquisa a pessoa responsável por decidir sobre a compra dos equipamentos. Na sua ausência, existem outras pessoas que podem agir como decisor: o profissional de logística, o de metrologia, líderes de laboratórios, analistas de compras e outros usuários de equipamentos. Contudo, a tomada de decisão é realizada de forma individual por cada um deles. Como anteriormente mencionado, considerando que cada um dos laboratórios pode ter necessidades diferentes de uso e alocação para um equipamento, trata-se de um processo de escolha individual com qualquer um desses possíveis decisores.

Por exemplo, si um equipamento de laboratório for requerido para o laboratório de Análise Químico, quem pode decidir sobre o fornecedor a ser escolhido é o chefe do

laboratório de química analítica, ou profissional de logística de bens, ou o profissional de metrologia, ou um usuário do equipamento, ou o analista de compras. Por isso que é importante avaliar as preferências para cada cenário proposto com cada pessoa em capacidade de tomar a decisão de compra.

O decisor estará influenciado pelas informações dos seguintes atores: os especialistas que fornecem dados factuais sobre as necessidades dos equipamentos requeridos em cada laboratório, sendo caracterizados como o pessoal que precisa do equipamento para realizar testes e análises relacionados com os projetos de pesquisa, a saber, os profissionais que apoiam as pesquisas, mestres, doutores e estudantes. Da mesma forma, os *stakeholders* são pessoas responsáveis das áreas administrativas de contabilidade, planejamento e qualidade, cuja função é certificar que os recursos econômicos foram destinados conforme solicitado, com processos de compra objetivos e de acordo como as políticas internas da organização.

Com o intuito de analisar o ponto de vista de cada uma das pessoas envolvidas na escolha de fornecedores, foram entrevistados sete (7) possíveis decisores em cada um dos cenários A, B e C descritos. Segue na Tabela 3.1a caracterização dos decisores, o código designado para cada um, a área de atuação correspondente à hierarquia indicada no organograma da Figura 3.1.

Tabela 3.1 - Caracterização dos Decisores

Área de Atuação	Cargo	Código em cada Cenário		
		A	B	C
Metrologia	Profissional de apoio dos Laboratórios	D _{A1}	D _{B1}	D _{C1}
Laboratório de Análise Químico	Chefe de Laboratório	D _{A2}	D _{B2}	D _{C2}
Laboratório de Produção Vegetal	Chefe de Laboratório	D _{A3}	D _{B3}	D _{C3}
Logística de Bens	Profissional de apoio dos Laboratórios	D _{A4}	D _{B4}	D _{C4}
Compras (Aquisições de Bens)	Analista de Compras	D _{A5}	D _{B5}	D _{C5}
Laboratório de Saúde Animal	Chefe de Laboratório	D _{A6}	D _{B6}	D _{C6}
Laboratório de Microbiologia	Chefe de Laboratório	D _{A7}	D _{B7}	D _{C7}

Fonte: O Autor.

3.2.2 Etapa 2: Identificação dos Objetivos

Nesta etapa é realizada a identificação, estruturação, análise e compreensão dos objetivos relevantes (estratégicos, fundamentais e objetivos-meio) de tal forma a garantir a qualidade do processo decisório. A solução encontrada através do processo decisório visa

atingir o objetivo principal do Departamento de Laboratórios de Pesquisa e Serviços, indicado pela Direção de Pesquisa e Desenvolvimento, que é: Garantir a disponibilidade de recursos nos laboratórios para desenvolver os projetos de pesquisa agropecuária.

De acordo com a política de qualidade dos laboratórios, o diretor do departamento de Laboratórios, estabeleceu os seguintes objetivos meio:

- Melhorar a distribuição econômica dos recursos designados para compra de elementos de laboratório.
- Melhorar as atividades e diminuir os retrabalhos da área de metrologia e manutenção.
- Garantir a realização de procedimentos administrativos de compras e qualidade conforme os padrões estabelecidos internamente, além de o uso dos recursos físicos ou equipamentos no médio e longo prazo.
- Dar continuidade à política de inovação tecnológica nos projetos de pesquisa agropecuária.

3.2.3 *Etapa 3: Estabelecimento de Critérios*

Conforme descrito por Keeney&Raiffa (1993), a partir de cada objetivo definido na etapa anterior, são estabelecidos os critérios que representam os objetivos no processo de modelagem. Para cada objetivo definido, está estabelecida uma variável para mensuração do nível de desempenho com que os objetivos devem ser atingidos. No mesmo contexto, o esclarecimento dos critérios de decisão permite identificar posteriormente o conjunto de alternativas potenciais (DE ALMEIDA, 2013).

Partindo do fato de que um maior foco na avaliação de aspectos econômicos tem limitações porque não captura uma série de dimensões importantes de valor, portanto carecendo de abrangência, outros fatores estão sendo considerados, ao menos de forma implícita (ANGELIS & KAVANOS, 2016). Para o caso de compra de equipamentos laboratoriais, os critérios de aceitação podem ser expressos de várias formas, podendo se referir a especificações e tolerâncias, longevidade da operação ou fatores operacionais ao longo de um período de tempo (NEWMAN & SIMKINS, 1998). Porém, Rezaei *et al.* (2016) ressaltam que, apesar de existir uma diversidade de critérios considerados relevantes, a literatura pode não ter alcançado unanimidade quanto à importância dos critérios apropriados em seleção de fornecedores.

Existem critérios de aceitação para um equipamento que devem cumprir os requisitos internacionais e nacionais de qualidade, requisitos de saúde e segurança e outras condições

importantes de desempenho como materiais consumíveis e partes adicionais. Estas especificações podem ser desenvolvidas em conjunto com um ou mais fornecedores e pesquisadores interessados, focando os requisitos nas necessidades e objetivos de pesquisas atuais e futuras, geração adicional de conhecimento, modelos similares em outras instituições e sem especificações de marcas exclusivas alusivas a um único fornecedor. Isso indica que as especificações devem ter um componente funcional descrevendo o equipamento em termos de sua função pretendida e o nível de desempenho exigido.

Para este estudo, os critérios foram estabelecidos pelo analista de compras e o profissional de logística de bens dos laboratórios, baseados em procedimentos, políticas e experiências de compras anteriores na empresa. Se bem que os critérios preço, tempo de entrega, garantia, capacidade técnica, treinamento e resposta a chamado técnico, estão mencionados no estudo feito por Weber, Current&Benton (1991) para seleção de fornecedores. Newman & Simkins (1998) os destacam também e ainda acrescentam os critérios de pagamento e experiência. No mesmo contexto, o profissional de logística de bens associou e validou cada critério estabelecido, com os objetivos identificados na etapa anterior: A melhora na distribuição dos recursos econômicos está representada nos critérios Preço e Termos de Pagamento e Experiência; a melhoria nos processos de apoio está integrada nos critérios Capacidade Técnica, Resposta a Chamado Técnico e Manutenção; o atendimento dos procedimentos administrativos relaciona o critério Garantia; e a continuidade das políticas de inovação e tecnologia se traduz nos critérios de Tempo de Entrega e Treinamento.

A seguir, encontra-se a definição dos critérios, indicada por Newman & Simkins (1998) para uma compra de elementos considerados como investimento de capital, que se enquadra ao contexto de equipamentos laboratoriais estudado nesta dissertação.

• **Preço:** Esta é a questão mais complexa em relação à compra de equipamentos. A definição do preço é resultado da interação do comprador, do vendedor, do mercado e da economia como um todo. Alguns dos fatores que influem no preço são condicionados pelo comprador e um grande segmento está totalmente fora do controle dele. Ressalta-se ainda que a concorrência é uma interferência poderosa na decisão de preços, especialmente se a decisão de compra for orientada para o preço e existirem várias alternativas disponíveis.

• **Tempo de Entrega:** No momento de solicitar ao fornecedor a cotação, o comprador reconhece um intervalo flexível na data de entrega. Embora seja uma data necessária, deve também perceber as implicações legais e operacionais quanto ao possível não cumprimento por parte do vendedor ao não entregar no tempo estabelecido. Existem equipamentos

vendidos como um produto de construção, exibindo prazos significativos desde a colocação da ordem até o recebimento do equipamento, por isso que as ordens tomadas hoje podem ter datas de entrega futuras. Porém, em equipamentos menores, um fornecedor pode comprimir o tempo de entrega com um ou dois equipamentos disponíveis ou aproveitando o cancelamento de pedidos por algum outro cliente.

• **Capacidade Técnica:** Corresponde à avaliação das características técnicas do equipamento, em relação ao requerido pela empresa. Fatores como a experiência do usuário frente a marcas reconhecidas, estudos em pesquisas anteriores, normas de qualidade internacionais, referências de sucesso em outras empresas com o mesmo equipamento requerido, disposições governamentais, ou simplesmente, a adequação a um modelo disponível no mercado por procedimentos de análise padronizados, influenciam na avaliação do critério.

• **Garantia:** Existem duas categorias gerais de garantia: expressas e implícitas. No caso de garantia implícita, inclui a qualidade dos bens e aptidão para um propósito particular para o qual o equipamento está sendo comprado. Já na garantia expressa, o comprador e o vendedor podem negociar a duração e cobertura da garantia mais as variáveis que a afetam, como operação ou transporte, por exemplo.

• **Treinamento:** este quesito está relacionado ao tipo de suporte e treinamento, associados à compra. Com a entrega do equipamento, devem ser fornecidos materiais como manuais e vídeos de instruções de uso. Embora em algumas situações a obrigação do fornecedor se limite à disponibilização de um conjunto de manuais, não significa que não haja formas adicionais de garantir que o equipamento será utilizado de acordo com as condições estabelecidas pela fabricante. Dependendo da complexidade do equipamento, pode ser necessário um treinamento presencial, realizado por pessoal especializado no manuseio e operação, pois uma descrição visual e presencial é muito mais eficaz do que as instruções escritas no manual e esses complementos dos documentos escritos podem refletir um aumento da satisfação do cliente.

• **Resposta a Chamado Técnico:** Relaciona o suporte de manutenção com o apoio de habilidades necessárias para realizar o serviço. Além da garantia em si e de sua cobertura, o comprador deve ter uma posição clara ao realizar a manutenção de emergência durante o período de garantia sem anular a garantia, pelo qual devem ser definidas questões como o tempo de resposta do vendedor e disponibilidade do pessoal de reparo quando a manutenção é realizada apenas pelo vendedor.

• **Manutenção:** A manutenção é um fator significativo na vida útil, quando considerado o tempo de duração das máquinas cujos fornecedores oferecem manutenção preventiva e o tempo de duração dos equipamentos mantidos de acordo com as indicações do fabricante. O suporte de manutenção de peças sobressalentes indica quão prontamente estarão disponíveis as peças necessárias para o funcionamento do equipamento. Igualmente, inclui a disponibilidade para a revisão periódica preventiva do equipamento ou a manutenção realizada apenas pelo vendedor, como no caso de equipamentos tão exclusivos que só pode ser revisado por um especialista treinado pelo fabricante.

• **Termos de Pagamento:** Geralmente dependem da natureza da compra e da capacidade de fluxo econômico do comprador principalmente nos casos de equipamentos de alto custo, podendo atender a três opções possíveis. A primeira, se o equipamento for feito por pedido ou o produto final de um contrato, na prática comercial normal pode envolver até 30% do valor do contrato como adiantamento, permitindo que o fornecedor inicie o processo de fabricação ou importação; na segunda opção, pelo pagamento posterior do saldo ou retenção (o montante de dinheiro retido pelo comprador para garantir a conformidade com as especificações); e a última forma, relacionada com o pagamento total da compra sem adiantamento, prévia definição de cláusulas legais dentro do contrato ou ordem de compra para garantir o atendimento das especificações e atender aos parâmetros de aceitação no processo de fabricação ou entrega.

• **Experiência:** Frequentemente, os compradores retornam a um fornecedor com o que tiveram sucesso previamente. Os ex-fornecedores já são conhecidos em todas as facetas da compra e seus produtos são identificados em relação ao custo e desempenho. Portanto, as experiências com o fornecedor constituem a base para a seleção ou rejeição, e às vezes o trato dos representantes comerciais, pode oferecer uma experiência positiva, levando a uma preferência deste critério para a seleção do fornecedor.

Todos os critérios estão definidos como contínuos com valor numérico, podendo considerar uma faixa de valores diferente para cada cenário, exceto os critérios Termos de Pagamento e Experiência que são discretos e podem assumir somente um valor dentro de uma escala de três (3) níveis, bem como o critério Capacidade Técnica, cuja escala está definida pela pontuação das especificações técnicas atendidas segundo o requerimento de compra. No mesmo contexto, os critérios Preço, Tempo de Entrega e Resposta a Chamado Técnico são critérios de minimização, isto é, quanto menor o valor da consequência do fornecedor em

cada um deles, melhor seu desempenho no problema; os critérios restantes são de maximização que indica o oposto. A Tabela 3.2 resume as características dos critérios.

Tabela 3.2 - Critérios Estabelecidos

Critério	Símbolo	Descrição	Escala	Unidade
Preço	C_1	↓ - Preço de venda do Equipamento.	Cenário A: 1.137 a 2023 Cenário B: 19.275 a 25.278 Cenário C: 185.150 a 364.000	COP\$ ($\times 10^3$)
Tempo de Entrega	C_2	↓ - Número de dias, desde a emissão da ordem de compra até a instalação no laboratório.	Cenário A: 30 a 90 Cenário B: 45 a 90 Cenário C: 60 a 120	Dias
Capacidade Técnica	C_3	↑ - Total de especificações técnicas atendidas, de acordo com os requerimentos de uso do equipamento.	Cenário A: 4 a 8 Cenário B: 10 a 16 Cenário C: 19 a 49	Pontuação
Garantia	C_4	↑ - Garantia para troca por peças ou funcionamento.	Cenário A: 12 a 24 Cenário B: 12 a 24	Meses
			Cenário C: 1 a 3	Anos
Treinamento	C_5	↑ - Treinamento e acompanhamento nas adequações do equipamento ao local de instalação, bem como apoio para realizar testes e métodos de análise.	1 a 3	Dias
Resposta a Chamado Técnico	C_6	↓ - Tempo dentro do qual o fornecedor deve responder a um pedido de serviço relacionado a problemas operacionais e falhas.	24 a 72	Horas
Manutenção	C_7	↑ - Quantidade de serviços de manutenção preventiva e revisão no equipamento sem custo adicional.	0 a 3	Unidade
Termos de Pagamento	C_8	↑ - Forma de pagamento	1: Total antecipado 2: Parcial 3: Até 30 dias depois da entrega	Pontuação
Experiência	C_9	↑ - Experiência do fornecedor no mercado.	1: Fornecedor novo 2: Vendas anteriores comprovadas com faturas 3: Apresentação de contratos por equipamentos ou empresas de atividades similares.	Pontuação

↓: Critério de Minimização
↑: Critério de Maximização

Fonte: O Autor.

É importante ressaltar que nem todos os objetivos e critérios da Tabela 3.2 foram avaliados em todos os cenários, nem por todos os decisores. Por exemplo, o critério C_5 (*Treinamento*) foi considerado apenas para o Cenário B, porque no Cenário A o equipamento é considerado como básico e seu manuseio é fácil para os usuários. Particularmente no cenário C, mesmo que o equipamento seja caro, é um equipamento com um sistema padrão de uso que não requer treinamento especial. Do mesmo modo, o objetivo de melhorar a gestão e a distribuição do orçamento relacionado às condições de pagamento e à experiência do fornecedor (C_8 e C_9) foram considerados no Cenário C, mas não nos cenários A e B. Isso pode ser justificado pelo fato de que apenas o tipo de equipamento considerado no Cenário C excede o preço limiar estabelecido pelo governo colombiano para compras em empresas públicas, então esse processo de compra exige documentos e condições especiais para suportar a transação. Os critérios específicos para cada cenário estão indicados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Caracterização dos Cenários

Cenário A ($< \text{COP\$ } 3.000 \times 10^3$)		Cenário B ($\text{COP\$ } 10.000 - \text{COP\$ } 15.000 \times 10^3$)		Cenário C ($> \text{COP\$ } 150.000 \times 10^3$)	
C_1	Preço	C_1	Preço	C_1	Preço
C_2	Tempo de Entrega	C_2	Tempo de Entrega	C_2	Tempo de Entrega
C_3	Capacidade Técnica	C_3	Capacidade Técnica	C_3	Capacidade Técnica
C_4	Garantia	C_4	Garantia	C_4	Garantia
C_5	-	C_5	Treinamento	C_5	-
C_6	-	C_6	Resposta a Chamado Técnico	C_6	Resposta a Chamado Técnico
C_7	-	C_7	-	C_7	Manutenção
C_8	-	C_8	-	C_8	Termos de Pagamento
C_9	-	C_9	-	C_9	Experiência

Fonte: O Autor.

3.2.4 Etapa 4: Estabelecimento de Ações e Problemática

O conjunto de alternativas do problema é composto por opções de fornecedores existentes no mercado local, capazes de satisfazer as exigências da empresa. Para cada cenário foi realizada uma pré-seleção dos fornecedores capazes de vender os equipamentos de interesse. As alternativas foram definidas a partir de pesquisas de mercado prévias ao processo de compra, resultando para cada cenário de aplicação descrito na seção 3.1, um conjunto de alternativas F formado por sete (7) fornecedores potenciais, chamados $\{F_{A1}, F_{A2},$

$F_{A3}, F_{A4}, F_{A5}, F_{A6}$ e F_{A7} para o cenário **A**; $\{F_{B1}, F_{B2}, F_{B3}, F_{B4}, F_{B5}, F_{B6}$ e $F_{B7}\}$ para o cenário **B** e $\{F_{C1}, F_{C2}, F_{C3}, F_{C4}, F_{C5}, F_{C6}$ e $F_{C7}\}$ para o cenário **C**.

O problema apresenta uma problemática de escolha ($P\alpha$) de acordo com a classificação feita por Roy (1996), na qual se espera que o resultado do processo decisório, seja um subconjunto que deve ser tão pequeno quanto possível a ponto de que uma única alternativa venha eventualmente a ser escolhida.

A seguir são apresentadas as características de cada um dos cenários para esta etapa da construção do modelo.

3.2.4.1 Características do Cenário A

Como mencionado anteriormente, este cenário corresponde à menor faixa de preços considerada na compra de equipamentos. Analisando as características dos equipamentos deste cenário e os objetivos que se desejam alcançar através da seleção adequada do fornecedor, os critérios C_1, C_2, C_3 e C_4 , foram utilizados para avaliar os fornecedores. Critérios relacionados à manutenção, serviço técnico e treinamento não foram considerados relevantes para este cenário, uma vez que são equipamentos de fácil utilização e possuem preço relativamente baixo, sendo sua substituição em casos de dano ou defeito mais provável do que a realização de consertos. São incluídos neste cenário equipamentos como balanças de precisão, pHmetros, condutivímetros, agitadores, micropipetas e dosadores digitais. Na Tabela 3.4 encontram-se os valores das consequências de cada fornecedor nos critérios relevantes para este cenário que representa a compra de um agitador magnético.

Tabela 3.4 - Matriz de Consequências para o Cenário A

Alternativa	Critério			
	C_1 Preço	C_2 Tempo de Entrega	C_3 Capacidade Técnica	C_4 Garantia
F_{A1}	1.785,00	120	8	24
F_{A2}	1.322,40	30	6	12
F_{A3}	1.872,94	30	4	12
F_{A4}	1.190,00	60	8	18
F_{A5}	1.360,45	60	8	12
F_{A6}	1.137,96	45	6	12
F_{A7}	2.023,00	90	8	24
Unidade	COP\$ x10 ³	Dias	Pontuação	Meses

Fonte: O Autor.

3.2.4.2 Características do Cenário B

Comparados aos do Cenário A, os equipamentos do Cenário B apresentam, além do preço de venda mais elevado, maior grau de complexidade, pelo qual a avaliação técnica considera maior quantidade de especificações técnicas do que um equipamento laboratorial compreendido no Cenário A. O cenário abarca equipamentos como centrífugas, termostatos, incubadoras, autoclaves, equipamentos de microscopia e estufas com controle de humidade e temperatura. Particularmente este cenário considerou a compra de uma centrífuga de laboratório, então os critérios C_5 e C_6 foram considerados, visto que o equipamento requer orientações para manuseio e cuidados especiais indicados pelo fornecedor como representante do fabricante, bem como revisão especial e troca de peças em caso de falhas. A matriz de consequências para este cenário é apresentada na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Matriz de Consequências para o Cenário B

Alternativa	Critério					
	C_1 Preço	C_2 Tempode Entrega	C_3 Capacidade Técnica	C_4 Garantia	C_5 Treinamen to	C_6 Resposta a Chamado Técnico
F_{B1}	25.278,00	90	10	24	1	24
F_{B2}	19.650,00	45	13	18	2	24
F_{B3}	19.275,00	60	12	12	3	24
F_{B4}	23.897,58	90	16	24	2	72
F_{B5}	20.082,00	60	16	12	1	72
F_{B6}	23.383,50	90	13	12	3	48
F_{B7}	22.937,25	90	12	12	1	72
Unidade	COP\$ x10 ³	Dias	Pontuação	Meses	Dias	Horas

Fonte: O Autor.

3.2.4.3 Características do Cenário C

Para este cenário, o critério C_5 não foi levado em consideração porque o equipamento específico avaliado para esta compra é um sistema de cabines de fluxo laminar e de segurança biológica que não requerem instruções de uso adicionais às sugeridas pelo fabricante. Por outro lado, os critérios C_8 e C_9 foram acrescentados visto que para a faixa com preços mais elevados e de acordo com as políticas públicas, a empresa considera a compra como um investimento de recursos que influencia o fluxo de caixa para realizar o pagamento da totalidade do equipamento, além de acarretar consequências de médio e longo prazo para a empresa. O anterior também explica o porquê a unidade para o critério C_7 de manutenção está especificado em anos e não em meses, como nos cenários anteriores. A matriz de consequências está ilustrada na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Matriz de Consequências para o Cenário C

Alternativa	Critério							
	C_1 Preço	C_2 Tempo de Entrega	C_3 Capacidade Técnica	C_4 Garantia	C_6 Resposta a Chamado Técnico	C_7 Manutenção	C_8 Termos de Pagamento	C_9 Experiência
F_{C1}	364.000,00	120	49	1	24	1	3	2
F_{C2}	275.210,00	90	19	1	24	0	2	3
F_{C3}	352.830,00	90	37	3	48	0	3	2
F_{C4}	228.400,00	60	41	2	24	2	3	3
F_{C5}	210.000,00	90	32	1	72	0	2	2
F_{C6}	190.000,00	60	27	1	72	0	1	1
F_{C7}	185.150,00	60	33	2	72	2	1	1
Unidade	COP\$ x10 ³	Dias	Pontos	Anos	Horas	Unidade	Pontos	Pontos

Fonte: O Autor.

3.2.5 Etapa 5: Identificação de Fatores Não Controlados

A identificação destes fatores diz respeito à análise e identificação de pontos importantes que fogem do controle do decisor, o que não se aplica ao âmbito deste estudo, uma vez que as variáveis consideradas são do tipo determinístico. Portanto não são consideradas incertezas associadas ao problema, e as consequências analisadas não são representadas por estados da natureza.

3.2.6 Etapa 6: Modelagem de Preferências

Esta etapa avalia qual a estrutura de preferências mais apropriada para a representação das preferências do decisor sobre o conjunto de consequências, bem como a racionalidade mais adequada. Para este problema, o decisor consegue expressar as relações de preferências sob uma estrutura de preferência estrita (P) e de indiferença (I) (ROY, 1996), não existindo incomparabilidade, confirmando que tais preferências entre alternativas seguem as propriedades de ordenabilidade e transitividade (VINCKE, 1992; ROY, 1996).

Identifica-se também, uma racionalidade compensatória do decisor no problema, pois existe necessidade de equilibrar o conjunto de necessidades requeridas em termos de *tradeoff* entre critérios, sendo aceitável a compensação de um menor desempenho de uma alternativa em um critério por um melhor desempenho nos outros critérios. Essa necessidade de fazer compensação entre fatores conflitantes para encontrar a melhor opção torna-se relevante quando as ofertas dos fornecedores apresentam contradições entre critérios, por exemplo, o fornecedor com o menor preço pode não ter simultaneamente a melhor qualidade,

ou o fornecedor com a melhor qualidade pode não ser capaz de realizar entregas dentro de um curto intervalo de tempo (AISSAOUI, HAOUARI & HASSINI, 2007).

Dessa forma, é possível afirmar que o método mais apropriado para apoiar o processo de decisão apresentado neste estudo deve estar baseado no modelo aditivo. Os princípios deste método serão apresentados nas próximas etapas.

3.2.7 Etapa 7: Avaliação Intracritério

Na avaliação intracritério, o *range* de consequências de cada alternativa a_i no conjunto de critérios C_j é mapeado em um novo intervalo de valores, que usualmente corresponde ao intervalo de zero (0) a um (1). Isso é realizado por meio de funções valor marginais $v_j(x_{ij})$. No problema em estudo para todos os critérios assumem-se funções valor marginais lineares, normalizadas de tal forma que o valor um (1) é atribuído ao melhor desempenho no espaço de consequências para o critério em questão, e zero (0) ao pior desempenho. Assim, o valor normalizado para os critérios de maximização é resultado da aplicação de funções valor marginais que assumem a forma da Equação (3.1):

$$v_j(x_{ij}) = [x_{ij} - \text{Min}_{\forall j \in F}(x_{ij})] / [\text{Max}_{\forall j \in F}(x_{ij}) - \text{Min}_{\forall j \in F}(x_{ij})] \quad \text{Equação (3.1)}$$

Em que v_j corresponde à função valor marginal para o critério C_j , x_{ij} é o valor da consequência de uma alternativa i no critério C_j , e $\text{Min}_{\forall j \in F}(x_{ij})$ e $\text{Max}_{\forall j \in F}(x_{ij})$ correspondem, respectivamente, aos valores mínimo e máximo do espaço de consequências para o critério C_j . Os critérios de minimização são normalizados como na Equação (3.2):

$$v_j(x_{ij}) = [x_{ij} - \text{Max}_{\forall j \in F}(x_{ij})] / [\text{Min}_{\forall j \in F}(x_{ij}) - \text{Max}_{\forall j \in F}(x_{ij})] \quad \text{Equação (3.2)}$$

Seguindo as equações anteriores, a Tabela 3.7 mostra os valores de consequência normalizados para o Cenário A. Para o Cenário B, os valores normalizados estão indicados na Tabela 3.8 e para o Cenário C, na Tabela 3.9.

Tabela 3.7 - Matriz de Decisão Normalizada para o Cenário A

Alternativas	Critérios			
	C_1	C_2	C_3	C_4
F_{A1}	0,27	0	1	1
F_{A2}	0,79	1	0,50	0
F_{A3}	0,17	1	0	0
F_{A4}	0,94	0,67	1	0,50
F_{A5}	0,75	0,67	1	0
F_{A6}	1	0,83	0,50	0
F_{A7}	0	0,33	1	1

Fonte: O Autor.

Tabela 3.8 - Matriz de Decisão Normalizada para o Cenário B

Alternativas	Critérios					
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
F_{B1}	0	0	0	1	0	1
F_{B2}	0,94	1	0,50	0,5	0,50	1
F_{B3}	1	0,67	0,33	0	1	1
F_{B4}	0,23	0	1	1	0,50	0
F_{B5}	0,87	0,67	1	0	0	0
F_{B6}	0,32	0	0,50	0	1	0,50
F_{B7}	0,39	0	0,33	0	0	0

Fonte: O Autor.

Tabela 3.9 - Matriz de Decisão Normalizada para o Cenário C

Alternativas	Critérios							
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_6	C_7	C_8	C_9
F_{C1}	0	0	1	0	1	0,50	1	0,50
F_{C2}	0,50	0,50	0	0	1	0	0,5	1
F_{C3}	0,06	0,50	0,60	1	0,50	0	1	0,50
F_{C4}	0,76	1	0,73	0,50	1	1	1	1
F_{C5}	0,86	0,50	0,43	0	0	0	0,50	0,50
F_{C6}	0,97	1	0,27	0	0	0	0	0
F_{C7}	1	1	0,47	0,50	0	1	0	0

Fonte: O Autor.

3.2.8 Etapa 8: Avaliação Intercritério

Nesta etapa é realizada a aplicação do modelo aditivo, em que a Equação (2.1) é utilizada a fim de obter os valores globais para cada alternativa (fornecedor) do problema. Para utilizar esse modelo é necessário obter as constantes de escala dos critérios. Para elicitar esses valores, empregou-se o procedimento de elicitação *Tradeoff* (KEENEY & RAIFFA, 1993), através do SAD *intra web*, desenvolvido pelo Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão (CDSID) do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

O aplicativo **TU-T2OMO-WT1²** -*Elicitation for Tradeoff Additive Model with Linear or non-Linear Value Function and Sensitivity Analysis*, é um *software* via *web* que permite a obtenção das constantes de escala e dos valores das funções globais para cada alternativa. Este SAD tem sido utilizado como ferramenta de análise em outros problemas de estudo de caso

² Disponível em www.cdsid.org.br

relacionados a decisão multicritério (LUGO, 2016), permitindo obter uma solução para o problema decisório após obter respostas do decisor a respeito de suas preferências.

Dado que o objetivo desta etapa é avaliar as preferências individuais do decisor, a entrevista com cada decisor foi realizada separadamente e em dias diferentes para cada cenário, para que não houvesse comunicação entre eles e que cada pessoa agisse sem a influência de opinião dos demais possíveis decisores.

O primeiro passo do procedimento *Tradeoff* consiste na avaliação intracritério descrita na etapa 3.2.7. O próximo passo requer a ordenação das constantes de escala dos critérios (DE ALMEIDA, 2013). Para isto é apresentado para o decisor um gráfico com uma alternativa hipotética que tem o pior desempenho em todos os critérios, realizando uma avaliação holística, de forma similar ao exemplo mostrado na Figura 3.5. Esta figura corresponde à tela indicada pelo *software* no Cenário C para ordenação dos critérios realizada por cada decisor entrevistado. O decisor deverá responder a pergunta: “Suponha que você pode melhorar o desempenho de apenas um dos critérios desta alternativa para seu valor máximo. Qual critério você escolheria?”. A mesma pergunta se repete até que todos os critérios sejam escolhidos, levando a uma ordenação das constantes de escala desses critérios.

Figura 3.5 - Ordenação das Constantes de Escala dos Critérios

Step 2 - Criteria Ranking

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

Consequence of hypothetic alternative

Criterion	Current Value (Worst)	Maximum Value (Best)
Preço	364000000 (Numeric Scale)	195150000 (Numeric Scale)
Tempo	120 (Numeric Scale)	60 (Numeric Scale)
Cap_Técnica	19 (Numeric Scale)	49 (Numeric Scale)
Garantia	1 (Numeric Scale)	3 (Numeric Scale)
Manutenção	0 (Numeric Scale)	2 (Numeric Scale)
Tempo_Resposta	72 (Numeric Scale)	24 (Numeric Scale)
Pago	1 (Numeric Scale)	3 (Numeric Scale)
Experiência	1 (Numeric Scale)	3 (Numeric Scale)

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

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

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

Visualize this criterion with maximum performance:

- Preço
- Tempo
- Cap_Técnica
- Garantia
- Manutenção
- Tempo_Resposta
- Pago
- Experiência

>>Confirm Choice>>

Criteria ranking:

Restart this Procedure

<< Problem's page

Go Forward >>

Fonte: O Autor.

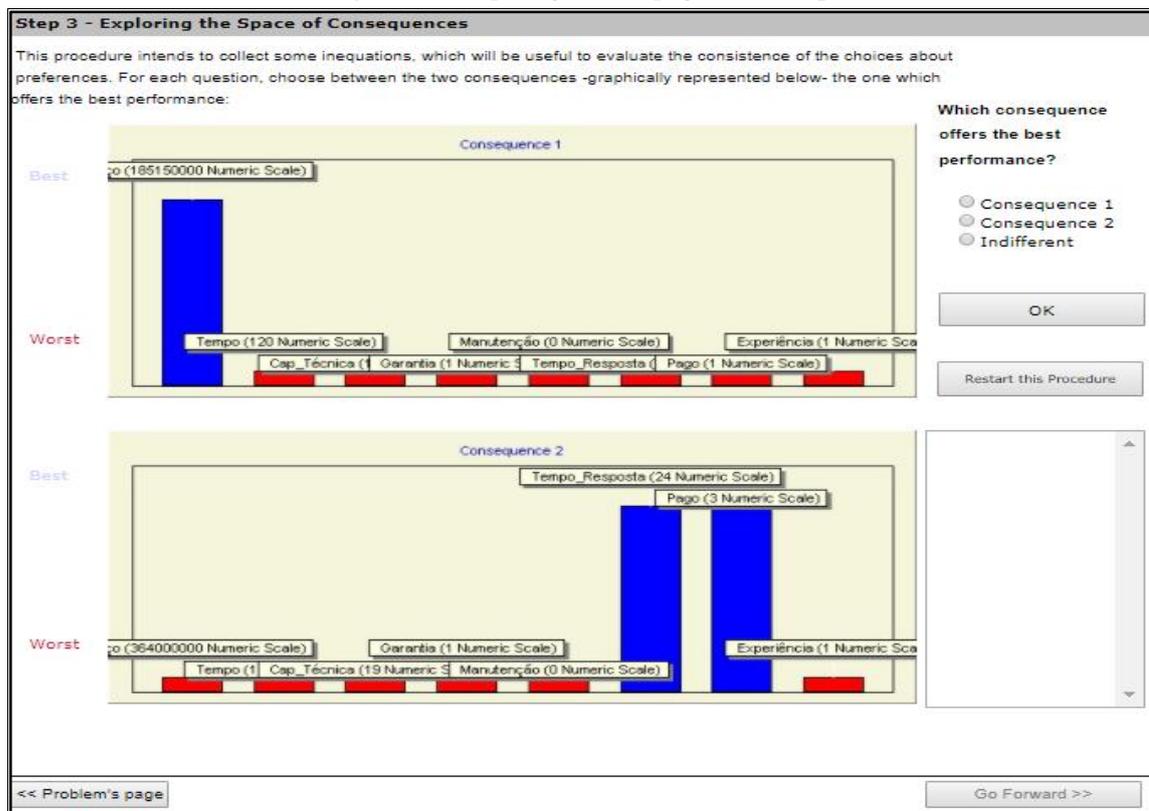
No próximo passo apresentado pelo SAD, de acordo com o exemplo da Figura 3.6, o decisor é questionado sobre suas preferências ao comparar duas (2) consequências com diferentes desempenhos, devendo responder à pergunta: “Entre as duas consequências apresentadas, qual oferece o melhor desempenho?”. O objetivo deste passo é coletar inequações para posteriormente avaliar a consistência das preferências indicadas pelo decisor.

Para obter os valores das constantes de escala k , de forma similar ao passo anterior, para cada par de consequências indicado pelo SAD exemplificado na Figura 3.6, o decisor é questionado: “Qual das consequências oferece melhor desempenho?”.

A quantidade de perguntas respondidas pelo decisor deve ser no mínimo igual ao número de critérios menos um (1), ou ele pode optar por estabelecer esses valores diretamente, digitando-os na célula inferior na tela (Figura 3.7).

O número de perguntas respondidas pelos decisores, necessárias para obter os valores k de cada critério C_j e chegar a uma solução será analisada posteriormente na seção 4.1.2.

Figura 3.6 - Exploração do Espaço de Consequências



Fonte: O Autor.

Figura 3.7 - Obtenção das Constantes de Escala

Step 4 - Obtaining the Scale Constants

The step 2 of the elicitation process consists in a sequence of questions about preferences. This step's purpose is to settle consequences which create a scenario of indifference.

Please, answer the following question for each pair of consequences showed:

Consequence 1

Best: Preço (185150000 Numeric Scale)

Worst: Tempo (120 Numeric Scale), Manutenção (0 Numeric Scale), Experiência (1 Numeric Scale), Cap. Técnica (1 Numeric Scale), Garantia (1 Numeric Scale), Tempo Resposta (72 Numeric Scale), Pago (1 Numeric Scale)

Consequence 2

Best: Cap. Técnica (49 Numeric Scale)

Worst: Preço (364000000 Numeric Scale), Garantia (1 Numeric Scale), Pago (1 Numeric Scale), Tempo (120 Numeric Scale), Manutenção (0 Numeric Scale), Tempo Resposta (72 Numeric Scale), Experiência (1 Numeric Scale)

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

Which consequence offers the best performance?

Consequence 1

Consequence 2

Indifferent

<< Problem's page

Fonte: O Autor.

3.2.8.1 Avaliação Intracritério no Cenário A

Para este cenário, os valores das constantes de escala dos critérios para cada decisor estão indicadas na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Constantes de Escala Obtidas para o Cenário A

Decisor	Valor k			
	k_{C1}	k_{C2}	k_{C3}	k_{C4}
	Preço	Tempo de Entrega	Capacidade Técnica	Garantia
D_{A1}	0,6924	0,1731	0,0896	0,0448
D_{A2}	0,2601	0,0415	0,6936	0,0046
D_{A3}	0,2968	0,0084	0,5937	0,1009
D_{A4}	0,1213	0,3638	0,4851	0,0296
D_{A5}	0,0603	0,9056	0,0113	0,0226
D_{A6}	0,0847	0,0674	0,6782	0,1695
D_{A7}	0,0487	0,4382	0,5008	0,0121

Fonte: O Autor.

3.2.8.2 Avaliação Intracritério no Cenário B

Os valores obtidos para o Cenário B são apresentados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 - Constantes de Escala Obtidas para o Cenário B

Decisor	Valor k					
	k_{C1}	k_{C2}	k_{C3}	k_{C4}	k_{C5}	k_{C6}
	Preço	Tempo de Entrega	Capacidade Técnica	Garantia	Treinamento	Resposta a Chamado Técnico
D_{B1}	0,3137	0,0093	0,4705	0,0187	0,0375	0,1501
D_{B2}	0,0319	0,0101	0,5108	0,0638	0,2554	0,1277
D_{B3}	0,1307	0,0002	0,5228	0,2614	0,0566	0,0283
D_{B4}	0,2336	0,0782	0,4824	0,0313	0,0626	0,1118
D_{B5}	0,8533	0,1066	0,0026	0,0213	0,0107	0,0053
D_{B6}	0,0714	0,0114	0,6432	0,2144	0,0229	0,0366
D_{B7}	0,0000	0,1109	0,6656	0,2218	0,0002	0,0013

Fonte: O Autor.

3.2.8.3 Avaliação Intracritério no Cenário C

Para este último cenário, os decisores D_{C1} e D_{C7} não consideraram o critério C_8 na avaliação intercritério, pelo qual o valor k desses critérios é zero (0). Segue na Tabela 3.12, as constantes de escala para este cenário.

Tabela 3.12 - Constantes de Escala Obtidas para o Cenário C

Decisor	Valor k							
	k_{C1}	k_{C2}	k_{C3}	k_{C4}	k_{C6}	k_{C7}	k_{C8}	k_{C9}
	Preço	Tempo de Entrega	Capacidade Técnica	Garantia	Resposta a Chamado Técnico	Manutenção	Termos de Pagamento	Experiência
D_{C1}	0,1530	0,0045	0,4372	0,3060	0,0722	0,0181	0	0,0090
D_{C2}	0,0032	0,0096	0,4999	0,0385	0,3499	0,0770	0,0027	0,0192
D_{C3}	0,0079	0,0028	0,5032	0,2683	0,0671	0,0157	0,0009	0,1342
D_{C4}	0,1564	0,0242	0,4468	0,0036	0,0345	0,0145	0,0073	0,3128
D_{C5}	0,8126	0,1157	0,0024	0,0096	0,0006	0,0012	0,0386	0,0193
D_{C6}	0,6527	0,0264	0,1442	0,1057	0,0132	0,0033	0,0017	0,0529
D_{C7}	0,0345	0,0172	0,4598	0,0690	0,0058	0,1379	0	0,2759

Fonte: O Autor.

3.2.9 Etapa 9: Avaliação de Alternativas

O resultado da elicitação realizada com cada decisor é apresentado pelo SAD, mostrando os valores k obtidos e a função valor global de cada alternativa, de acordo com a Equação (2.1), permitindo identificar a vencedora. Um exemplo é apresentado na Figura 3.8, que corresponde ao resultado obtido com o decisor D_{C5} .

Figura 3.8 - Apresentação de Resultados

ALTERNATIVES		RESULTS
F7		0.90466
F6		0.82357
F4		0.7518
F5		0.74285
F2		0.41202
F3		0.19047
F1		0.12195

CRITERIA	SCALE CONSTANTS
Preço	0.78703
Cap. Técnica	0.11203
Garantia	0.05601
Tempo	0.02801
Manutenção	0.00934
Experiência	0.00467
Tempo Resposta	0.00233
Pago	0.00058

Fonte: O Autor.

3.2.9.1 Avaliação de Alternativas no Cenário A

Para o Cenário A, a alternativa vencedora e os valores globais das alternativas para cada decisor estão indicados na Tabela 3.13. Para cinco (5) dos sete (7) decisores, a alternativa F_{A4} foi a vencedora e a alternativa F_{A3} teve o pior desempenho. Para o decisor D_{A5} , no entanto, a alternativa vencedora foi F_{A2} , e a que obteve pior desempenho foi F_{A7} , isso pode ser justificado pelo fato de o decisor D_{A5} ter priorizado o critério C_2 , enquanto os outros priorizaram C_3 . A priorização do critério C_2 também é uma justificativa para o fato de a alternativa F_{A3} , que teve pior desempenho para os outros decisores, ter obtido o segundo melhor desempenho para o decisor D_{A5} . Por outro lado, para o decisor D_{A1} a prioridade foi o critério C_1 , resultando como ganhadora a alternativa F_{A6} e a alternativa com o pior desempenho foi F_{A7} . Este resultado expressado em porcentagem, resulta nas alternativas F_{A4} e F_{A3} como aquelas com melhor e pior desempenho global respectivamente, para 71% dos decisores; ainda que para 57% dos decisores a segunda melhor opção foi F_{A5} .

Tabela 3.13 - Resultados do Ranking das Alternativas e Valores Globais no Cenário A

Posição	Decisor						
	D_{A1}	D_{A2}	D_{A3}	D_{A4}	D_{A5}	D_{A6}	D_{A7}
1°	F_{A6} 0,8815	F_{A4} 0,9690	F_{A4} 0,9293	F_{A4} 0,8568	F_{A2} 0,9591	F_{A4} 0,8878	F_{A4} 0,8450
2°	F_{A4} 0,8792	F_{A5} 0,9165	F_{A5} 0,8216	F_{A5} 0,8186	F_{A3} 0,9159	F_{A1} 0,8706	F_{A5} 0,8295
3°	F_{A2} 0,7661	F_{A1} 0,7684	F_{A1} 0,7745	F_{A2} 0,7025	F_{A6} 0,8208	F_{A7} 0,8478	F_{A2} 0,7272
4°	F_{A5} 0,7234	F_{A7} 0,6983	F_{A7} 0,6947	F_{A6} 0,6671	F_{A4} 0,6832	F_{A5} 0,7867	F_{A6} 0,6644
5°	F_{A1} 0,3207	F_{A6} 0,6416	F_{A6} 0,6008	F_{A1} 0,5474	F_{A5} 0,6603	F_{A6} 0,4801	F_{A1} 0,5261
6°	F_{A3} 0,2905	F_{A2} 0,5947	F_{A2} 0,5403	F_{A7} 0,5148	F_{A1} 0,0502	F_{A2} 0,4737	F_{A7} 0,5130
7°	F_{A7} 0,1344	F_{A3} 0,0858	F_{A3} 0,0588	F_{A3} 0,3845	F_{A7} 0,0340	F_{A3} 0,0818	F_{A3} 0,4465

Fonte: O Autor.

3.2.9.2 Avaliação de Alternativas no Cenário B

Neste cenário, a alternativa vencedora e os valores globais das alternativas estão indicados na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 - Resultados do Ranking das Alternativas e Valores Globais no Cenário B

Posição	Decisor							
	D_{B1}	D_{B2}	D_{B3}	D_{B4}	D_{B5}	D_{B6}	D_{B7}	
1°	F_{B5} 0,7483	F_{B4} 0,7098	F_{B4} 0,8426	F_{B5} 0,7368	F_{B3} 0,9413	F_{B4} 0,8855	F_{B4} 0,8877	
2°	F_{B2} 0,7170	F_{B3} 0,5922	F_{B5} 0,6361	F_{B2} 0,6973	F_{B2} 0,9294	F_{B5} 0,7127	F_{B5} 0,7397	
3°	F_{B3} 0,6644	F_{B6} 0,5848	F_{B2} 0,5714	F_{B3} 0,6210	F_{B5} 0,8124	F_{B2} 0,5553	F_{B2} 0,5561	
4°	F_{B4} 0,5802	F_{B2} 0,5829	F_{B3} 0,3900	F_{B4} 0,5987	F_{B7} 0,3336	F_{B6} 0,3853	F_{B6} 0,3336	
5°	F_{B6} 0,4468	F_{B5} 0,5453	F_{B6} 0,3734	F_{B6} 0,4334	F_{B6} 0,2840	F_{B3} 0,3530	F_{B3} 0,2973	
6°	F_{B7} 0,2792	F_{B1} 0,1916	F_{B1} 0,2897	F_{B7} 0,2519	F_{B4} 0,2256	F_{B1} 0,2510	F_{B1} 0,2231	
7°	F_{B1} 0,1688	F_{B7} 0,1828	F_{B7} 0,2252	F_{B1} 0,1431	F_{B1} 0,0267	F_{B7} 0,2423	F_{B7} 0,2219	

Fonte: O Autor.

Observa-se que para quatro (4) dos sete (7) decisores, a alternativa F_{B4} foi a vencedora e a alternativa F_{B7} teve o pior desempenho. Embora os decisores D_{B4} e D_{B1} tenham priorizado também o critério C_1 , a alternativa ganhadora para eles foi F_{B5} e alternativa com o pior desempenho F_{B1} , o mesmo que para o decisor D_{B5} , para quem, no entanto, a alternativa vencedora foi F_{B3} , o que pode ser justificado pelo fato de o decisor D_{B5} ter priorizado o critério C_1 , enquanto os outros priorizaram o critério C_3 . Em termos de porcentagem, para 57% dos decisores a melhor alternativa foi F_{B4} e a pior alternativa F_{B7} .

3.2.9.3 Avaliação de Alternativas no Cenário C

Finalmente, para o Cenário C, a alternativa vencedora e os valores globais das alternativas estão indicados na Tabela 3.15. Pode ser identificado que para quatro (4) dos sete (7) decisores, a alternativa F_{C4} foi a vencedora e a alternativa F_{C6} teve o pior desempenho, o que pode ser justificado pelo fato de os decisores ter priorizado o critério C_3 , enquanto os outros priorizaram o critério C_1 , resultando para os decisores D_{C6} e D_{C5} , F_{C7} como alternativa vencedora; no entanto o decisor D_{C2} priorizou o critério C_6 e para ele, F_{C1} foi a alternativa vencedora. Isso quer dizer que para 43% dos decisores a melhor alternativa foi F_{C4} e com mesma porcentagem, a pior alternativa foi F_{C6} .

Tabela 3.15 - Resultados do Ranking das Alternativas e Valores Globais no Cenário C

Posição	Decisor						
	D_{C1}	D_{C2}	D_{C3}	D_{C4}	D_{C5}	D_{C6}	D_{C7}
1°	F_{C4} 0,6934	F_{C1} 0,9006	F_{C4} 0,7298	F_{C4} 0,8412	F_{C7} 0,9354	F_{C7} 0,8026	F_{C4} 0,8346
2°	F_{C3} 0,6207	F_{C4} 0,8467	F_{C3} 0,6736	F_{C1} 0,6522	F_{C6} 0,9069	F_{C4} 0,7509	F_{C1} 0,6724
3°	F_{C7} 0,5326	F_{C3} 0,5307	F_{C1} 0,6461	F_{C5} 0,5003	F_{C4} 0,7980	F_{C6} 0,6999	F_{C3} 0,4964
4°	F_{C1} 0,5229	F_{C2} 0,3769	F_{C7} 0,3953	F_{C3} 0,4744	F_{C5} 0,7875	F_{C5} 0,6649	F_{C7} 0,4387
5°	F_{C5} 0,3280	F_{C7} 0,3423	F_{C5} 0,2937	F_{C2} 0,4406	F_{C2} 0,5004	F_{C2} 0,4041	F_{C5} 0,3755
6°	F_{C6} 0,2699	F_{C5} 0,2352	F_{C2} 0,2070	F_{C7} 0,4054	F_{C3} 0,1682	F_{C3} 0,2809	F_{C2} 0,3073
7°	F_{C2} 0,1595	F_{C6} 0,1460	F_{C6} 0,1446	F_{C6} 0,2954	F_{C1} 0,0518	F_{C1} 0,1871	F_{C6} 0,1734

Fonte: O Autor.

3.2.10 Etapa 10: Análise de Sensibilidade

Nesta etapa é verificada a robustez do resultado final obtido na etapa anterior, quando consideradas variações nos dados de entrada na matriz de consequências. A análise considerou as variações nos resultados simulando 10.000 iterações e uma distribuição uniforme.

De acordo com os resultados obtidos na etapa anterior de avaliação das alternativas, podem ser considerados outros panoramas hipotéticos para avaliar as alternativas que não resultaram vencedoras; no entanto é importante destacar que os valores das constantes de escala resultaram em valores muito pequenos para alguns dos critérios, impedindo mudanças grandes nos valores originais, como poderia acontecer na vida real. Em termos gerais, no caso de mudanças na matriz de decisão como adição ou remoção de critérios ou alternativas, todo o processo de cálculo deve ser repetido, pois pode afetar o esquema do resultado final. No entanto, para avaliar a sensibilidade do modelo a alterações em algum dos parâmetros, são consideradas alterações hipotéticas nos valores da matriz de consequências e das constantes de escala dos critérios.

3.2.10.1 Análise de Sensibilidade no Cenário A

Na variação dos valores k , a alternativa vencedora para cada decisor permaneceu como líder em todas as iterações realizadas pelo SAD, exceto para o decisor D_{A1} , para o qual somente 21,4% das vezes a alternativa vencedora seria F_{A4} , que foi colocada em segundo lugar no cenário original. Para o caso da variação na matriz de consequências, foi considerada variação de 10% no critério C_1 porque esse seria o máximo desconto oferecido pelos

fornecedores, igualmente no critério C_2 ; e de 5% nos demais critérios. No entanto a alternativa vencedora original se mantém para todos os decisores como apresentado na Tabela 3.16, que indica a porcentagem de vezes em que cada alternativa resultou vencedora.

Tabela 3.16 - Análise de Sensibilidade para o Cenário A

Posição	Decisor						
	D_{A1}	D_{A2}	D_{A3}	D_{A4}	D_{A5}	D_{A6}	D_{A7}
1°	F_{A6} 50,90%	F_{A4} 95,90%	F_{A4} 100%	F_{A4} 94,30%	F_{A2} 100%	F_{A4} 87,30%	F_{A4} 72,70%
2°	F_{A4} 49,10%	F_{A5} 4,12%	-	F_{A5} 5,73%	-	F_{A1} 12,70%	F_{A5} 27,30%
3°	F_{A2} 0,01%	-	-	-	-	-	-

Fonte: O Autor.

3.2.10.2 Análise de Sensibilidade no Cenário B

Na variação dos valores k , a alternativa vencedora original para cada decisor também se manteve 100% das vezes e para o decisor D_{B5} , somente 0,44% das vezes a alternativa vencedora seria F_{B2} , que esteve em segundo lugar no cenário original. Já a variação na matriz de consequências foi definida em 5% nos critérios C_1 (o máximo desconto obtido para os equipamentos na faixa de preços do cenário definido) e C_3 , e de 10% nos demais critérios, encontrando que a alternativa vencedora original se mantém para todos os decisores, como mostrado na Tabela 3.17, que indica a porcentagem de vezes em que cada uma das alternativas conservou sua posição original.

Tabela 3.17 - Análise de Sensibilidade para o Cenário B

Posição	Decisor						
	D_{B1}	D_{B2}	D_{B3}	D_{B4}	D_{B5}	D_{B6}	D_{B7}
1°	F_{B5} 72,10%	F_{B4} 100%	F_{B4} 100%	F_{B5} 80,80%	F_{B3} 51,20%	F_{B4} 100%	F_{B4} 100%
2°	F_{B2} 27,40	-	-	F_{B6} 19,20%	F_{B2} 46,00%	-	-
3°	F_{B3} 0,50%	-	-	-	F_{B5} 2,77%	-	-

Fonte: O Autor.

3.2.10.3 Análise de Sensibilidade no Cenário C

Para este cenário, na variação dos valores k a alternativa vencedora se manteve 100% das vezes para todos os decisores. A variação na matriz de consequências foi definida em 5% nos critérios C_1 e C_3 , e 10% nos demais critérios, encontrando que as alternativas ranqueadas na primeira e segunda posição no cenário original se mantêm para todos os decisores, como mostrado na Tabela 3.18, que indica a porcentagem de vezes em que cada uma das alternativas conservou sua posição em relação ao cenário original. Isto pode acontecer porque a diferença de valor global entre a primeira e a segunda alternativa é considerável, o que limita a modificação de algum dos valores na matriz de consequências, ou seja, para que as outras alternativas pudessem ser escolhidas, seriam necessários valores muito diferentes aos iniciais oferecidos pelos fornecedores.

Tabela 3.18 - Análise de Sensibilidade para o Cenário C

Posição	Decisor						
	D_{C1}	D_{C2}	D_{C3}	D_{C4}	D_{C5}	D_{C6}	D_{C7}
1°	F_{C4} 99,00%	F_{C1} 100%	F_{C4} 95,60%	F_{C4} 100%	F_{C7} 83,00%	F_{C7} 98,50%	F_{C4} 100%
2°	F_{C3} 0,99%	-	F_{C3} 4,39%	-	F_{C6} 17,10%	F_{C4} 1,46%	-

Fonte: O Autor.

Os resultados confirmam que o modelo construído é pouco sensível às diferentes alterações tanto nas constantes de escala k , quanto nos valores da matriz de consequências pensadas de acordo com cada cenário proposto; portanto, pode-se afirmar que a recomendação da alternativa é robusta com relação a tais parâmetros (DE ALMEIDA, 2013).

3.2.11 Etapa 11: Análise dos Resultados e Recomendação

Nesta etapa, devem-se avaliar os resultados e elaborar recomendações num nível de detalhamento sobre o processo decisório, contemplando o nível de confiança que o decisor deve ter quanto ao modelo de decisão construído.

A recomendação é mostrada ao decisor através de um relatório de análises e recomendações, junto com a solução encontrada em cada cenário, ressaltando a confiabilidade do modelo de apoio à decisão construído. Da mesma forma, ressaltar o papel do SAD, em termos de interatividade com o decisor e facilidade para realizar a elicitación de preferências, identificar inconsistências entre respostas e avaliar que coincidem com as escolhas iniciais.

Nesse sentido, é importante destacar que o decisor pode ter dificuldades cognitivas para identificar as relações de indiferença no procedimento de elicitação de pesos, o que pode explicar o comportamento dos valores da constante de escala k em relação ao grande valor para uns critérios e ao valor quase nulo para outros.

É importante destacar também que decisor deve avaliar todos critérios considerando os pesos dos critérios não apenas como o grau de importancia, mas levando-se em consideração o espaço de consequências, identificando as preferências e compensação entre critérios.

3.2.12 Etapa 12: Implementação da Decisão

Esta etapa diz respeito à própria implantação da ação ou adoção de procedimentos sobre o conjunto de ações indicadas, de acordo com a problemática definida.

Seguindo as recomendações indicadas no relatório elaborado na etapa anterior, a empresa deve avaliar a implementação do modelo como uma modificação no procedimento atual de compras e de seleção de fornecedores para equipamentos laboratoriais, e ainda avaliar a possibilidade de ampliar o uso do modelo decisório em outras atividades e departamentos da empresa com problemas similares, ou com elementos relacionados à escolha de fornecedores.

3.3 Discussão dos Resultados

Observa-se que o critério Preço, não obtém o maior valor de constante de escala k em todos os decisores. Isto pode ser explicado porque o decisor considera custos adicionais que não necessariamente estariam cobertos pelo preço de compra do equipamento e que influem sobre as demais atividades do laboratório, por exemplo, a quantidade de pessoas requeridas para operar o equipamento, se for pensado como custo de mão de obra ou o valor das peças necessárias para o funcionamento do equipamento, se pensar que não há nada tão caro quanto as peças produzidas pelo fabricante do equipamento original (NEWMAN & SIMKINS, 1998).

Os resultados sugerem ainda que quanto mais caro é o equipamento, maior a preocupação em atender outros critérios além do preço. Apesar de o *range* de valores das consequências no critério Preço aumentar com o aumento da faixa de preços dos equipamentos em cada cenário, nota-se que a constante de escala k associada a esse critério perde posições na ordenação e apresenta valores menores nos resultados. Isso reflete a preocupação por parte da empresa em comprar os equipamentos mais caros de forma

consciente, levando em consideração os benefícios a médio e longo prazo associados ao grande investimento econômico realizado, permitindo que outros critérios como garantia, manutenção ou experiência sejam avaliados mais cuidadosamente.

Contudo, cinco (5) decisores priorizaram critérios como Capacidade técnica, enquanto os demais decisores preferiram as consequências com melhor desempenho no critério de Preço. Esta tendência permite identificar dois (2) grupos de decisores, cada um com preferências diferentes. Tal situação deve ser avaliada com o intuito de definir uma regra de agregação que combine os diferentes decisores, em termos de redução de preferências individuais a um conjunto de preferências coletivas (De Almeida *et al.* 2012); pois foi evidenciada uma situação na que dependendo do grupo ao qual pertencer o decisor, existem dois possíveis opções de preferência e como resultado duas possíveis escolhas de fornecedores: Ou aquele fornecedor que oferecer o equipamento com menor preço, ou aquele cujo equipamento tiver mais capacidade técnica.

De outro lado, antes de finalizar o procedimento, o *software* apresenta uma tela sinalizando que inconsistências foram encontradas durante o procedimento, como demonstra a Figura 3.9. Isso ocorre devido a inconsistências das respostas fornecidas pelo decisor em suas avaliações de preferências. As inconsistências indicam que a comparação das consequências diversas não foi consistente com os valores k obtidos, pois se espera que para duas consequências x' e x'' , se $x' P x''$, então $v(x') > v(x'')$ (DE ALMEIDA, 2013). Por exemplo no Cenário B, o decisor D_{B5} realiza uma primeira ordenação das constantes de escala dos critérios $k_{C1} > k_{C2} > k_{C4} > k_{C3} > k_{C5} > k_{C6}$, mas durante a elicitación, ele muda as preferências iniciais, obtendo um valor diferente nas constantes de escala $k_{C1} > k_{C2} > k_{C5} > k_{C6} > k_{C4} > k_{C3}$. Aqui, o decisor muda a preferência inicial do critério C_4 para o critério C_5 e do C_3 pelo C_6 .

Depois de explicar para os decisores as inconsistências e opções definidas no *software*, nenhum deles optou pela opção dois (2) de repetir o procedimento de elicitación, escolhendo sempre a opção três (3) de avançar mantendo a inconsistência. Todos expressaram que repetir o procedimento de elicitación seria cansativo e demandaria mais tempo do que o inicialmente estimado para a aplicação do teste. Igualmente, indicaram que embora seja realizada uma ordenação inicial, quando é apresentada uma combinação de critérios com bons desempenhos, gera dúvidas da preferência. De acordo com eles, se as consequências comparadas forem avaliadas individualmente a ordenação se mantém, mas quando é apresentada uma comparação entre a melhor consequência de um critério e um par de consequências com os

melhores desempenhos de ordenação inferior, a preferência pode mudar para a Consequência² gerando tais inconsistências, conforme o exemplo apresentado na Figura 3.9.

Figura 3.9 - Apresentação de Inconsistências

Steps 5 and 6 - Results and Finalization

There are inconsistencies in your answers!

There are maybe some inconsistencies in the pair of consequences number: **2**
What do you want to do?

Option 1
 Option 2
 Option 3

*** Option 1:**

Consequence 1

Cap. Técnica (49 Numeric Scale)

4000000 Numeric Scale

Pago (1 Numeric Scale)

Tempo (120) Gar. Mi Tempo Respos Experiência (1 Numer)

Consequence 2

Tempo (60 Numeric Scale)

Garantia (3 Numeric Scale)

4000000 Numeric Scale

Pago (1 Numeric Scale)

Cap. Técnica Mi Tempo Respos Experiência (1 Numer)

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

*** Option 2:**

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

*** Option 3:**

Continue the process with this inconsistency.

Fonte: O Autor.

3.4 Considerações Finais

Em uma análise geral destaca-se a flexibilidade do procedimento de construção do modelo, identificando que podem ser reavaliadas as etapas do procedimento e identificar possíveis melhoras no modelo e no processo decisório.

Igualmente, ao longo da construção e aplicação do modelo de decisão, foi percebida a adaptação ao uso do SAD e a compreensão do decisor ao contexto de multicritério. Quanto mais complexo o problema, como foi o caso do Cenário C que representou a avaliação de mais critérios, o SAD resultou ser uma ferramenta mais rápida e prática para chegar a uma solução. A percepção foi que quanto mais difícil de resolver o problema, mais benefícios encontrados na utilização do SAD em termos de agilidade para resolver o problema, e de confiabilidade pelo resultado encontrado.

Na primeira fase, os decisores manifestaram como aspecto positivo do estudo, a objetividade na definição de parâmetros como objetivos e critérios e entenderam a importância do seu papel dentro do processo decisório, toda vez que os critérios avaliados relacionam bem os objetivos da empresa e levam a uma resolução satisfatória do problema. Já na segunda fase se mostraram muito interessados na elicitación de preferências, identificando que inclusive eles têm opiniões contraditórias no dia a dia e o SAD ajuda a representar o que realmente preferem baseados na análise de consequências e não na importância relativa dos critérios. Finalmente, na última fase ressaltaram a apresentação dos resultados e a possibilidade de avaliar o resultado global das alternativas, expressando uma facilidade para encontrar a solução através do SAD.

Considerando que o Departamento de Laboratórios e Compras é frequentemente questionado pelos diretos da empresa pelas decisões tomadas e embora estas estejam justificadas por argumentos relacionados com as características técnicas dos equipamentos, muitas vezes não é possível suportar como foi o processo decisório. Nesse sentido, todas as pessoas entrevistadas coincidiram em que o uso de um SAD envolve um processo interativo que permite além de encontrar as informações que precisam para ajudá-los a tomar uma decisão, justificar e defender a metodologia utilizada.

Sendo que o gerenciamento do tempo no processo decisório tem muito impacto no processo decisório, o apoio do analista na Fase 1 e o uso do SAD na Fase 2 do procedimento de construção do modelo, permite ter mais tempo para implementar a solução encontrada (De Almeida, 2013). Nesse sentido, ao início não foi fácil encontrar disponibilidade dos decisores, em tempo e em intenção para colaborar com o estudo, porque mesmo que o modelo de decisão permite melhorar os processos, os decisores expressaram uma aversão ao câmbio das práticas atuais. No entanto, depois de mostrar os resultados, reconheceram os benefícios de aplicar o modelo na compra de equipamentos laboratoriais.

Contudo, identificaram também dificuldades relacionadas com a compreensão dos conceitos de decisão multicritério. A etapa 3.2.8 de avaliação intercritério, na qual foi realizada a elicitación de preferências através do SAD, representou o maior esforço cognitivo para os decisores entrevistados, pois inicialmente eles não sabiam especificar o ponto de indiferença de forma consistente e sentiam dificuldade em estabelecer um valor numérico exato para cada par de critérios avaliados. Da mesma forma, nenhum dos decisores tinha conhecimentos de estruturas de preferências, por isso foi necessário explicar os conceitos básicos de decisão multicritério e relações de preferência antes de iniciar a elicitación, o que

representou outro desafio ao ter que explicar o conceito de “peso” do critério não apenas como a importância relativa, mas quanto à sua contribuição no valor global da função. Mesmo ilustrando através de exemplos gráficos sobre o valor de indiferença, o número de perguntas respondidas pelos decisores tem a ver com esta dificuldade para o decisor em expressar o ponto de indiferença requerido pelo procedimento tradicional de *Tradeoff*. Por isso, para a realização desta etapa, foi necessária a presença do analista o tempo todo para auxiliar os decisores conceitualmente e na interação com o SAD.

Tal julgamento dos decisores, confirma o exposto por De Almeida *et al.* (2016) a respeito do grande número de inconsistências geradas com procedimento de elicitação tradicional *Tradeoff*. Para resolver este inconveniente, estes autores apresentaram o método *FITradeoff*, que, entre outras vantagens, requer menor esforço cognitivo do decisor durante o processo de elicitação de preferências, conseqüentemente levando a uma diminuição das inconsistências encontradas. Isto representa uma vantagem importante no sentido de que o decisor não precisará refazer o processo de elicitação, diminuindo também o tempo total requerido para chegar a uma solução com o melhor desempenho possível para todos os critérios, de acordo com as preferências do decisor.

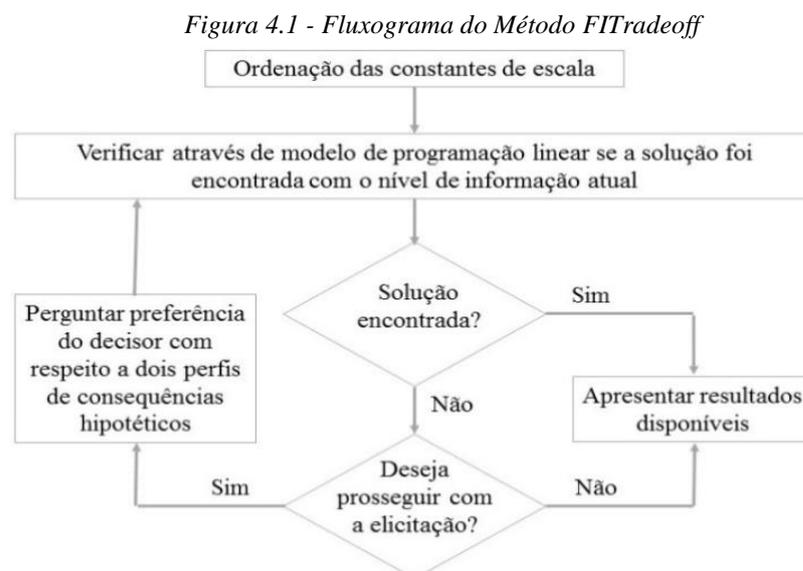
4 VARIAÇÕES NO MODELO DE DECISÃO BÁSICO

Com o intuito de tentar reduzir as inconsistências geradas com a elicitación de preferências através do procedimento *Tradeoff*, e tendo em vista das vantagens oferecidas pelo método *FITradeoff* (DE ALMEIDA *et al.* 2016), neste capítulo serão apresentadas as generalidades deste método para posteriormente aplicá-lo ao problema proposto, e finalmente comparar os resultados obtidos àqueles obtidos com o procedimento tradicional.

Tomando como base o modelo de decisão construído no capítulo anterior, a etapa correspondente à avaliação intercritério será alterada, sendo conservada a estrutura do processo de construção de modelo de decisão proposto por De Almeida (2013).

4.1 Modelo de Decisão com FITradeoff

Este método usa como base a estrutura axiomática do procedimento *Tradeoff* tradicional, apresentando perfis de consequências hipotéticos com respeito aos quais o decisor deve expressar suas preferências (DE ALMEIDA *et al.* 2016). O *FITradeoff*, ao contrário do procedimento tradicional, não requer a especificação de valores exatos de indiferença. As informações parciais obtidas com a ordenação das constantes de escala dos critérios e através de cada resposta do decisor quanto às suas preferências serão utilizadas como restrições em um modelo de programação linear, verificando, a cada nova informação obtida, se já é possível encontrar a solução. Uma visão geral do método é apresentada na Figura 4.1.



Fonte: Rodriguez, Kang & De Almeida (2017).

O método *FITradeoffé* flexível, permitindo que o decisor interrompa o processo de elicitação quando considerar que os resultados até então disponíveis são suficientes aos seus propósitos, ou quando não estiver mais disposto a responder. Utilizando o *FITradeoff*, as soluções encontradas são as mesmas obtidas através do procedimento *Tradeoff*, como esperado, e em muitos casos são necessárias menos perguntas do que o mínimo requerido pelo procedimento tradicional. Dessa forma, a aplicação do *FITradeoff* ao problema estudado poupa tempo do decisor e contribui para diminuir as inconsistências associadas a um grande número de perguntas. Além disso, o decisor não precisa definir valores exatos de indiferença, mas apenas expressar suas preferências estritas com respeito aos perfis de consequências apresentados, o que é uma tarefa cognitivamente mais fácil. Dado que os decisores nem sempre estão familiarizados com os conceitos de decisão multicritério ou de estruturas de preferências, é necessário oferecer um método fácil de entender e de aplicar, com o intuito de garantir a implementação de modelos de decisão objetivamente estruturados que proporcionem resultados confiáveis.

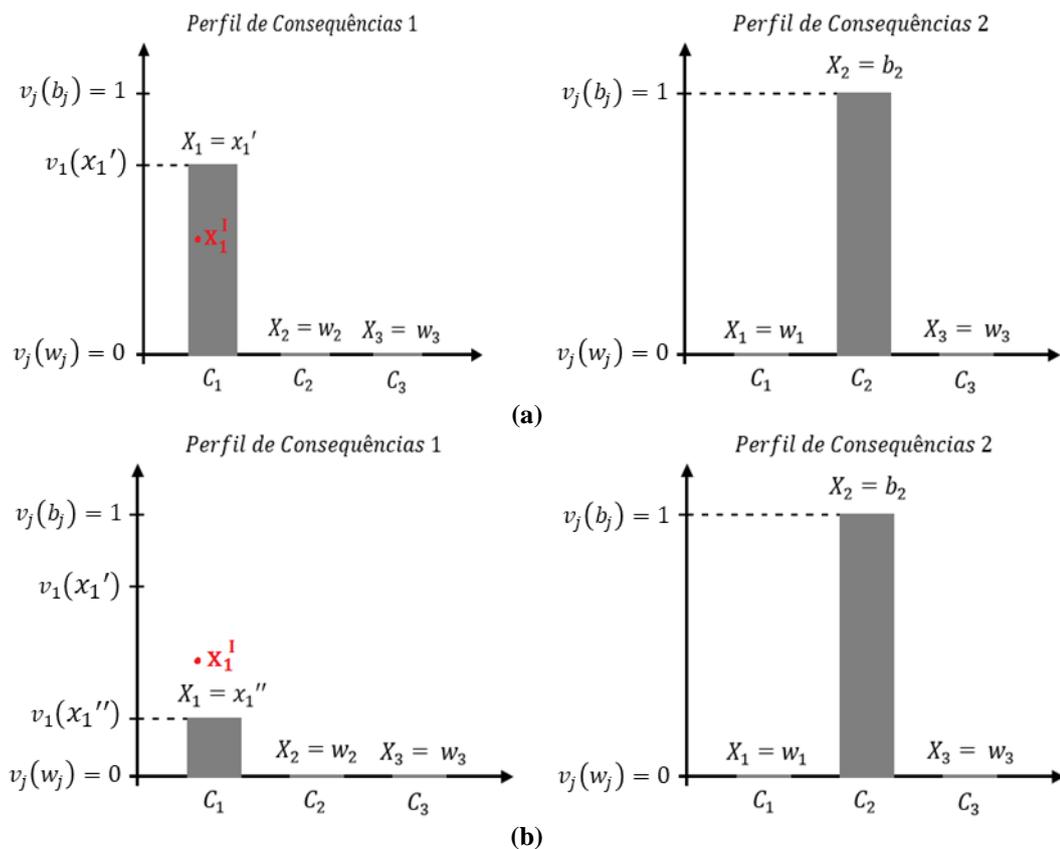
Considere o exemplo que foi apresentado na seção 2.1.3. Se para um valor de consequência $X_1 = x_1'$ o decisor prefere o Perfil 1 ao Perfil 2 como mostrado na Figura 4.2(a), o intervalo de valores possíveis para x_1' é reduzido a $[0, x_1']$. Esse intervalo está relacionado ao espaço de pesos. De Almeida *et al.* (2016) estabelecem que o espaço de pesos é definido como um conjunto de valores viáveis que as constantes de escala k podem assumir, sendo obtido pelas desigualdades definidas a partir das declarações de preferência do decisor.

Com o novo espaço de pesos obtido, se verificará através de LPP se foi encontrada uma alternativa ótima, que corresponde à solução do problema. Uma alternativa ótima é aquela cujo valor global calculado conforme aEquação (2.1), é o maior entre todas as demais alternativas (DE ALMEIDA *et al.* 2016) e será caracterizada como a alternativa vencedora. No mesmo exemplo, assuma que após algumas respostas dadas pelo decisor ainda não foi possível obter a solução, e que os perfis apresentados na pergunta atual consideram novamente os critérios adjacentes C_1 e C_2 como segue na Figura 4.2(b). Dessa vez, para um valor de consequência $X_1 = x_1''$, o decisor prefere o Perfil 2 ao Perfil 1. Logo, $x_1' \in [x_1'', x_1']$. A partir dessa nova informação o espaço de pesos será atualizado e se verificará através do modelo de programação linear se a solução foi encontrada (RODRIGUEZ, KANG & DE ALMEIDA, 2017).

Em resumo, o*FITradeoff* apresenta benefícios para resolver o problema de decisão, em termos de redução do número total de perguntas que o decisor deveria responder e

possibilidade de reduzir inconsistências relacionadas com a exploração do espaço de pesos, como as encontradas na aplicação do procedimento de elicitaco *Tradeoff* tradicional. Tais vantagens permitem diminuir o tempo do processo decisório para encontrar a soluço ótima, de acordo com as preferências do decisor. O mais importante, chegando  mesma soluço encontrada com o *Tradeoff* tradicional, que indica que o método proporciona robustez dos resultados.

Figura 4.2 - Perfis de Conseqncias Hipotéticas no Método FITradeoff



Fonte: Rodriguez, Kang & De Almeida (2017).

4.1.1 Aplicao do Método FITradeoff

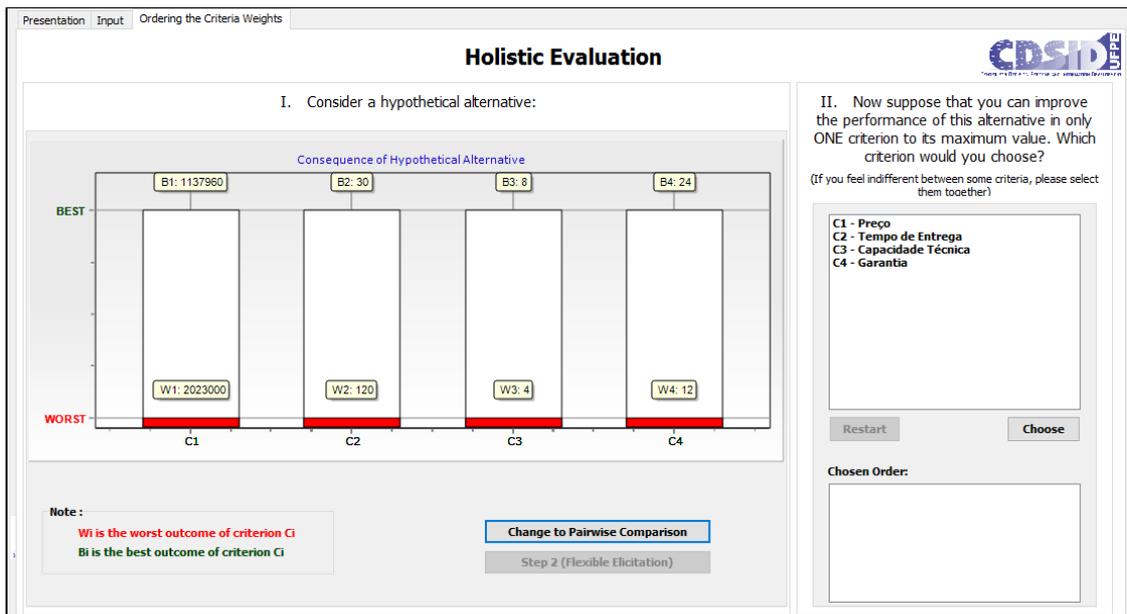
Da mesma forma que foi utilizado um *software* para realizar o procedimento de elicitaco no modelo de decisão básico, para a aplicao do método *FITradeoff* foi empregado o SAD³FU-TIENO-CF4g.

O SAD facilita ao decisor a avaliao das preferências, pois o procedimento de elicitaco está reduzido a apenas dois (2) passos: a ordenao das constantes de escala k e a

³Disponvel para *download* no endereço www.fitradeoff.org.

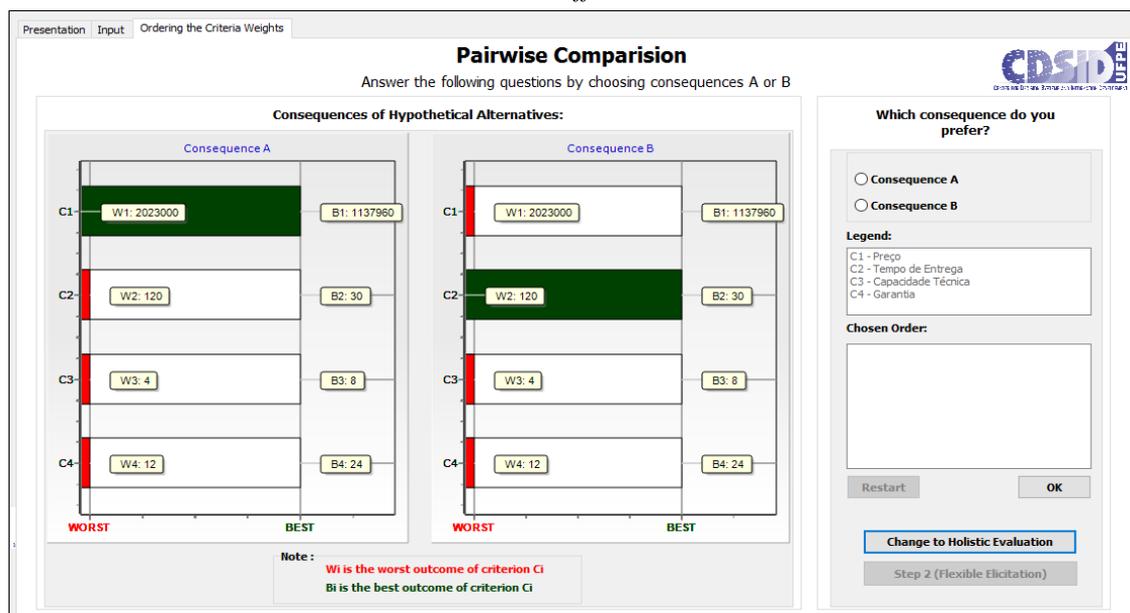
elicitação flexível. Por sua vez, o decisor pode realizar a ordenação inicial das constantes de escala através de avaliação holística como mostra o exemplo da Figura 4.3, na qual ele deve considerar a alternativa hipotética para cada um dos critérios; ou com a ordenação feita com a comparação par a par (exemplificado na Figura 4.4), onde o SADrealiza a ordenação de acordo com as consequências preferidas pelo decisor.

Figura 4.3 - Avaliação Holística para a Ordenação das Constantes de Escala dos Critérios no Método FITradeoff



Fonte: O Autor.

Figura 4.4 - Comparação Par a Par para Ordenação das Constantes de Escala dos Critérios no Método FITradeoff



Fonte: O Autor.

No entanto, o decisor pode omitir o passo da ordenação e ir diretamente ao passo dois (2) da elicitación flexível mostrada na Figura 4.5, e ainda sem precisar explorar o espaço de consequências do procedimento tradicional, eliminando também as inconsistências posteriores. Como resultado, o decisor não deve reconsiderar as preferências da ordenação inicial.

Figura 4.5 - Elicitación com FITradeoff

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

Consequence A

C1	W1: 1580480	X1: 1580480	B1: 1137960
C2	W2: 120		B2: 30
C3	W3: 4		B3: 8
C4	W4: 12		B4: 24

Consequence B

C1	W1: 2023000		B1: 1137960
C2			B2: 30
C3	W3: 4		B3: 8
C4	W4: 12		B4: 24

Note:
 Wi is the worst outcome of criterion Ci
 Xi is an outcome in between best and worst of criterion Ci
 Bi is the best outcome of criterion Ci

Options:
 Consequence A
 Consequence B
 Indifferent
 No Answer
 Inconsistency

OK

Number of Questions Answered: 1
Number of Potentially Optimal Alternatives: 2

Show Current Results
Stop Elicitation

Chosen Order:
 C1 - Preço
 C2 - Tempo de Entrega
 C3 - Capacidade Técnica
 C4 - Garantia

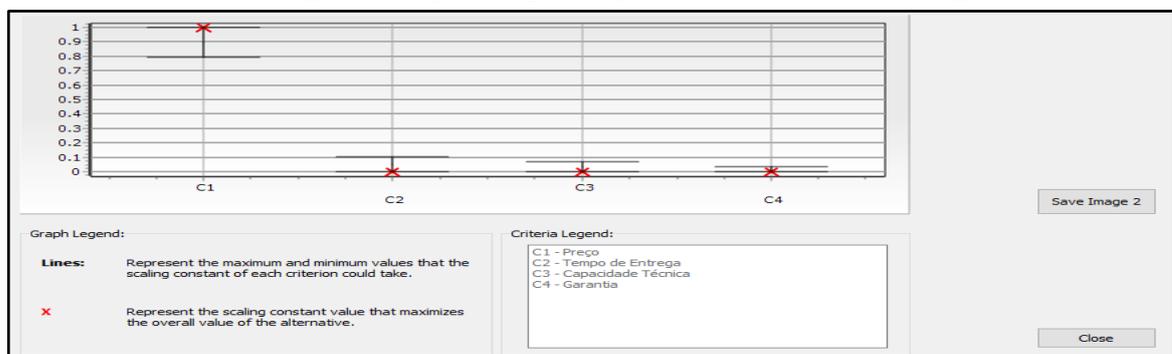
Equivalence Test:
 (Maximum difference between P, O, A.s.)

Between	Max. Difference
Nuevos Recursos - Blamis	0.15000000
Blamis - Nuevos Recursos	0.11300000

Fonte: O Autor.

Uma vez foi terminada a elicitación flexível, o SAD apresenta uma tela com os resultados da alternativa vencedora. Conforme indicado na Figura 4.6 - Apresentação Gráfica de Resultados no FITradeoff, o gráfico mostra os valores mínimo e máximo do intervalo de valores possíveis que podem assumir as constantes de escala k , para cada um dos critérios, bem com o valor que maximiza o valor global da alternativa ótima encontrada.

Figura 4.6 - Apresentação Gráfica de Resultados no FITradeoff



Fonte: O Autor.

As informações a respeito da ordenação das constantes de escala e as preferências do decisor expressas durante a elicitación no procedimento tradicional para cada cenário foram utilizadas para simular a elicitación no método *FITradeoff*.

Os intervalos das constantes de escala k obtidos para cada cenário, bem como os valores específicos que maximizam o *score* de cada alternativa vencedora dentro do intervalo possível, são apresentados na Tabela 4.1 para o Cenário A, na Tabela 4.2 para o Cenário B e na Tabela 4.3 para o Cenário C.

Tabela 4.1 - Intervalos de Valores das Constantes de Escala Obtidos com Método *FITradeoff* – Cenário A

Decisor	Valor k	k_{C1}	k_{C2}	k_{C3}	k_{C4}
		Preço	Tempo de Entrega	Capacidade Técnica	Garantia
D_{A1}	Limite Superior	0,6957	0,1739	0,0963	0,0481
	Limite Inferior	0,6845	0,1711	0,0870	0,0435
D_{A2}	Limite Superior	0,3333	0,1333	0,8000	0,1250
	Limite Inferior	0,1667	0	0,5000	0
D_{A3}	Limite Superior	0,3333	0,2000	0,6667	0,2500
	Limite Inferior	0,2000	0	0,4000	0
D_{A4}	Limite Superior	0,1765	0,3871	0,5161	0,0811
	Limite Inferior	0,0923	0,3243	0,4324	0
D_{A5}	Limite Superior	0,1046	0,9110	0,0256	0,0513
	Limite Inferior	0,0563	0,8205	0,0107	0,0213
D_{A6}	Limite Superior	0,1333	0,1250	0,6957	0,2667
	Limite Inferior	0,0833	0,0435	0,5000	0,1667
D_{A7}	Limite Superior	0,0547	0,4518	0,5164	0,0136
	Limite Inferior	0,0281	0,4349	0,4971	0,0035

Fonte: O Autor.

Tabela 4.2 - Intervalos de Valores das Constantes de Escala Obtidos com Método *FITradeoff* – Cenário B

Decisor	Valor k	k_{C1}	k_{C2}	k_{C3}	k_{C4}	k_{C5}	k_{C6}
		Preço	Tempo de Entrega	Capacidade Técnica	Garantia	Treinamento	Resposta a Chamado Técnico
D_{B1}	Limite Superior	0,3340	0,0098	0,5097	0,0394	0,0197	0,1576
	Limite Inferior	0,3013	0,0075	0,4584	0,0299	0,0149	0,1195
D_{B2}	Limite Superior	0,0625	0,0588	0,5333	0,2667	0,0667	0,1333
	Limite Inferior	0	0	0,4706	0,2353	0,0588	0,1176
D_{B3}	Limite Superior	0,1429	0,1000	0,4000	0,1250	0,2857	0,1111
	Limite Inferior	0,1000	0	0,5714	0	0,2000	0
D_{B4}	Limite Superior	0,2883	0,0902	0,5767	0,0845	0,0422	0,1269
	Limite Inferior	0,2253	0,0351	0,4507	0,0180	0,0090	0,0672
D_{B5}	Limite Superior	0,8555	0,1290	0,0035	0,0140	0,0280	0,0070
	Limite Inferior	0,8195	0,1063	0,0025	0,0100	0,0201	0,0050
D_{B6}	Limite Superior	0,1269	0,0526	0,8000	0,3333	0,1053	0,1143
	Limite Inferior	0	0	0,4210	0,1481	0	0
D_{B7}	Limite Superior	0,0141	0,2500	0,6957	0,2667	0,0282	0,0588
	Limite Inferior	0	0,1234	0,4507	0,1553	0	0

Fonte: O Autor.

Tabela 4.3 - Intervalos de Valores das Constantes de Escala Obtidos com Método FITradeoff – Cenário C

Decisor	Valor k	k_{C1}	k_{C2}	k_{C3}	k_{C4}	k_{C6}	k_{C7}	k_{C8}	k_{C9}
		Preço	Tempo de Entrega	Capacidade Técnica	Garantia	Manutenção	Chamado Técnico	Termos de Pagamento	Experiência
D_{C1}	Limite Superior	0,1765	0,0095	0,5714	0,3529	0,0378	0,0811	0,0047	0,0189
	Limite Inferior	0,1255	0	0,4018	0,2509	0	0	0	0
D_{C2}	Limite Superior	0,0055	0,0111	0,6667	0,0447	0,0892	0,4286	0,0055	0,0223
	Limite Inferior	0	0	0,4706	0	0	0,2857	0	0
D_{C3}	Limite Superior	0,0769	0,0714	0,5333	0,3636	0,0833	0,0909	0,0667	0,1818
	Limite Inferior	0	0	0,2667	0,2105	0	0,0526	0	0,1053
D_{C4}	Limite Superior	0,200	0,1429	0,5714	0,1000	0,125	0,1667	0,1111	0,4000
	Limite Inferior	0,0833	0	0,2000	0	0	0	0	0,1667
D_{C5}	Limite Superior	1	0,2000	0,0104	0,0213	0,0052	0,0052	0,0851	0,0425
	Limite Inferior	0,6667	0	0	0	0	0	0	0
D_{C6}	Limite Superior	1	0,0360	0,1684	0,1454	0,0089	0,0182	0,0045	0,0727
	Limite Inferior	0,5739	0	0	0	0	0	0	0
D_{C7}	Limite Superior	0,1428	0,1250	0,5714	0,1667	0,2000	0,1111	0,1000	0,4000
	Limite Inferior	0	0	0,2000	0	0,0833	0	0	0,1667

Fonte: O Autor.

Nota-se a partir dos resultados do *Tradeoff* tradicional apresentados na subseção 3.2.8, que os valores k estão dentro dos limites encontrados com o *FITradeoff* para cada cenário.

Em relação ao número de perguntas necessárias para encontrar uma solução ótima, no método *FITradeoff*, as perguntas realizadas ao decisor são cognitivamente mais fáceis de responder porque estão baseadas em relações de preferências estritas (P) e o decisor não precisa determinar o valor exato de indiferença entre os critérios avaliados, pelo qual espera-se que o número total de perguntas realizadas ao decisor seja menor em relação ao procedimento tradicional.

4.1.2 Comparação entre Métodos

Ao comparar os resultados encontrados através do procedimento de *Tradeoff* tradicional e do método *FITradeoff* pode ser identificado que o número mínimo de perguntas a serem respondidas no *Tradeoff* tradicional está relacionada com a identificação de $(n-1)$ pontos de indiferença, em que n é a quantidade de critérios considerados no problema. Justamente identificar os pontos de indiferença é a principal dificuldade do decisor durante a elicitación, precisando responder uma maior quantidade de perguntas respondidas com o *Tradeoff*, em relação ao *FITradeoff*. Nas seguintes subseções são comparados os resultados obtidos no procedimento *Tradeoff* tradicional com os do método *FITradeoff*.

4.1.2.1 Comparação de Tradeoff com FITradeoff no Cenário A

Como indicado na Tabela 4.4, a quantidade das perguntas respondidas no Cenário A para chegar a uma solução foi menor utilizando o *FITradeoff* para os seis (6) decisores, representando para os decisores D_{A2} , D_{A3} e D_{A6} diminuição da metade ou mais em relação ao número inicial, cujo número passou de 10, 10 e 9 respostas com o *Tradeoff* tradicional para cinco (5), duas (2) e cinco (5) com o *FITradeoff* respectivamente.

Tabela 4.4 - Resultados Tradeoff versus FITradeoff no Cenário A

Decisor	Tradeoff Tradicional		FITradeoff	
	Solução Recomendada	Nº total de perguntas respondidas	Solução Recomendada	Nº total de perguntas respondidas
D_{A1}	F_{A6}	12	F_{A6}	9
D_{A2}	F_{A4}	10	F_{A4}	5
D_{A3}	F_{A4}	10	F_{A4}	2
D_{A4}	F_{A4}	8	F_{A4}	6
D_{A5}	F_{A2}	11	F_{A2}	9
D_{A6}	F_{A4}	9	F_{A4}	5
D_{A7}	F_{A4}	10	F_{A4}	11

Fonte: O Autor.

4.1.2.2 Comparação de Tradeoff com FITradeoff no Cenário B

No cenário B, o total de perguntas respondidas para calcular as constantes de escala e chegar na mesma solução que com o método tradicional diminuiu utilizando o *FITradeoff*, especialmente para os decisores D_{B2} e D_{B3} , significou diminuição de mais da metade de perguntas que deveriam ser respondidas passando de 12 perguntas a quatro (4) e três (3) respectivamente. Os resultados utilizando ambos os métodos estão indicados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Resultados Tradeoff versus FITradeoff no Cenário B

Decisor	Tradeoff Tradicional		FITradeoff	
	Solução Recomendada	Nº total de perguntas respondidas	Solução Recomendada	Nº total de perguntas respondidas
D_{B1}	F_{B5}	14	F_{B5}	12
D_{B2}	F_{B4}	12	F_{B4}	4
D_{B3}	F_{B4}	12	F_{B4}	3
D_{B4}	F_{B5}	10	F_{B5}	9
D_{B5}	F_{B3}	14	F_{B3}	12
D_{B6}	F_{B4}	12	F_{B4}	7
D_{B7}	F_{B3}	10	F_{B3}	7

Fonte: O Autor.

4.1.2.3 Comparação de Tradeoff com FITradeoff no Cenário C

Os resultados da Tabela 4.6 mostram que este cenário teve redução das perguntas necessárias para encontrar uma solução ótima com o *FITradeoff* para seis (6) decisores, sendo especialmente relevante para os decisores D_{C3} , D_{C4} e D_{C7} que utilizando o *FITradeoff* responderiam somente três (3), quatro (4) e três (3) perguntas, comparado com o *Tradeoff* tradicional, que seria de 12, 10 e 14 perguntas respectivamente.

Tabela 4.6 - Resultados Tradeoff versus FITradeoff no Cenário C

Decisor	Tradeoff Tradicional		FITradeoff	
	Solução Recomendada	Nº total de perguntas respondidas	Solução Recomendada	Nº total de perguntas respondidas
D_{C1}	F_{C4}	12	F_{C4}	8
D_{C2}	F_{C1}	10	F_{C1}	10
D_{C3}	F_{C4}	12	F_{C4}	4
D_{C4}	F_{C4}	10	F_{C4}	3
D_{C5}	F_{C7}	14	F_{C7}	9
D_{C6}	F_{C7}	12	F_{C7}	9
D_{C7}	F_{C4}	14	F_{C4}	3

Fonte: O Autor.

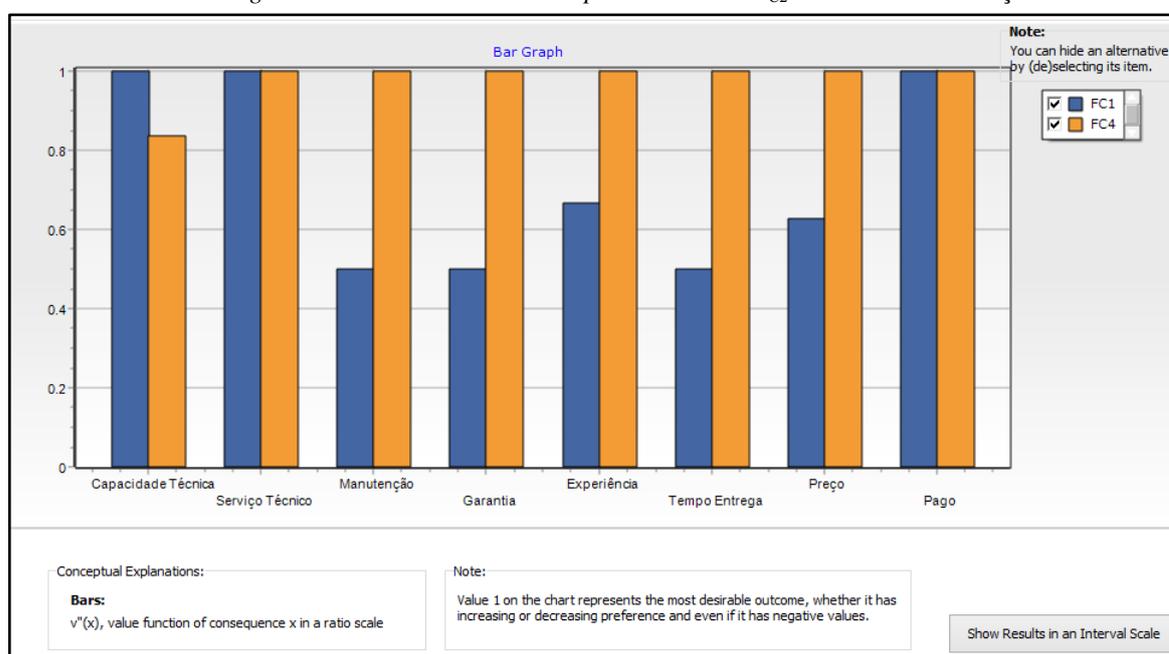
Particularmente para o decisor D_{A7} no Cenário A e para o decisor D_{C2} no Cenário C não houve redução no número de perguntas respondidas. Esta situação da não redução ou pelo contrário, aumento no número de perguntas respondidas com o procedimento tradicional, é explicada porque existem alternativas com desempenhos similares entre critérios. Acontece quando para o espaço de pesos encontrado com a ordenação das constantes de escala ou com as primeiras perguntas de preferência, não existe um vetor de pesos que maximize o valor global de uma alternativa j ao ponto de classificá-la como potencialmente ótima, ou existe mais de uma. Nesses casos, o SAD deve reduzir o espaço de pesos tanto como for necessário até que o subconjunto de alternativas potencialmente tenha somente um elemento, o que é realizado por meio de novas perguntas de preferência estrita (De Almeida *et al.* 2016).

Por exemplo, a ordenação das constantes de escala feita pelo decisor D_{C2} na pergunta zero (0): $k_{C3} > k_{C6} > k_{C7} > k_{C4} > k_{C9} > k_{C2} > k_{C1} > k_{C8}$, resultou em um subconjunto de alternativas potencialmente ótimas, cujos fornecedores presentes nele têm desempenhos semelhantes em alguns critérios. Como o decisor respondeu mais perguntas, ambas as alternativas permaneceram no subconjunto. Isso aconteceu até que a décima questão foi respondida,

gerando um espaço de pesos de modo que apenas uma alternativa fosse uma solução ótima entre todas as demais.

A Figura 4.7 mostra a visualização gráfica dos resultados parciais no início do processo para o decisor D_{C2} . Como pode ser visto, no início da elicitação, os fornecedores F_{C1} e F_{C4} foram soluções potencialmente ótimas. O gráfico permite ao decisor comparar os desempenhos de ambos os fornecedores nos critérios, de forma proporcional. Pode-se notar, por exemplo, que enquanto F_{C1} ganha no critério C_3 (Capacidade técnica), ambas as alternativas tem igual desempenho no critério C_6 (Resposta a Chamado Técnico).

Figura 4.7 - Resultados Parciais para o decisor D_{C2} no Início da Elicitação



Fonte: O Autor.

Em algumas situações, esse tipo de informação gráfica apresentada no SAD do *FITradeoff* pode ser útil, especialmente neste caso. Se o decisor puder preferir F_{C1} sobre F_{C4} , não seria necessário responder as outras dez perguntas.

4.2 Considerações Finais

Uma análise geral das duas abordagens estudadas leva a afirmar que para resolver um problema de decisão multicritério baseado no modelo aditivo, o *FITradeoff* é um método mais apropriado pelas vantagens evidenciadas na aplicação, entre elas confiabilidade no resultado, menos informação requerida do decisor e pela flexibilidade durante o processo de elicitação.

Utilizando o *FITradeoff*, as soluções encontradas foram as mesmas obtidas através do *Tradeoff*. Isto ocorre porque o método utiliza os mesmos pressupostos do procedimento tradicional, bem como a mesma estrutura matemática para obter o intervalo que contém o valor de indiferença x_j^I (De Almeida *et al.* 2016), permitindo relacionar os valores de constantes de escala e determinar o valor global das alternativas, de acordo com a Equação (2.1).

Para todos os cenários foram necessárias menos perguntas do que o mínimo requerido pelo procedimento tradicional. Para o Cenário A foram respondidas em média 10 perguntas, isto é, sete (7) a mais do que o mínimo, pois se $n = 4$ seria necessário especificar 3 pontos de indiferença; para o Cenário B, os decisores excederam o mínimo de cinco (5) respondendo em média mais sete (7) perguntas; e para o Cenário C, foram respondidas em média cinco (5) perguntas a mais do que o número mínimo teórico de sete (7). Nota-se a dificuldade do decisor em responder diretamente os pontos de indiferença entre os perfis de consequências: para os três (3) cenários, foi necessário responder perguntas de preferência estrita antes, para depois então poder estimar um valor de indiferença.

Igualmente, utilizando o SAD do método *FITradeoff* o decisor permite a visualização dos resultados que o SAD do procedimento tradicional não tem. O decisor pode também interromper o processo em qualquer momento, preferir não responder alguma pergunta da elicitación, visualizar os resultados parciais e o desempenhos da alternativa ótima, bem como repetir o procedimento ou voltar à pergunta anterior.

Dessa forma, fica claro que a aplicação do método *FITradeoff* pouparia tempo do decisor e contribuiria para diminuir as inconsistências associadas a um grande número de perguntas. Além disso, o decisor não precisaria definir valores exatos de indiferença, mas apenas expressar suas preferências estritas com respeito aos perfis de consequências apresentados, o que é uma tarefa cognitivamente mais fácil.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este capítulo encerra a dissertação apresentando as principais conclusões de todo o trabalho, principalmente da aplicação do modelo proposto e a variação realizada na elicitação de preferências, destacando também as limitações encontradas a partir do desenvolvimento da presente dissertação, que podem ser referencial para futuros trabalhos.

5.1 Conclusões

A fim de auxiliar o processo de seleção de fornecedores em equipamentos laboratoriais para pesquisa agropecuária, foi construído um modelo de decisão multicritério aplicado à compra de equipamentos para laboratórios de pesquisa agropecuária, determinando a melhor opção de fornecedor de acordo com diferentes critérios aplicáveis ao contexto de pesquisa agropecuária. O modelo desenvolvido está baseado no modelo de agregação aditivo utilizando o procedimento de elicitação *Tradeoff* tradicional para obtenção das constantes de escala, para depois encontrar a alternativa vencedora com o maior valor na função valor. Porém, ao aplicar este procedimento, foram identificadas dificuldades relacionadas com o número de perguntas realizadas e inconsistências geradas nas respostas do decisor, por isso aplicou-se o método *FITradeoff* pelas vantagens oferecidas ao requerer somente de informação parcial a respeito das preferências do decisor. Quando comparado o procedimento *Tradeoff* tradicional, o método *FITradeoff* apresenta vantagens por requerer menos informação do decisor, e fazer perguntas apenas com respeito a preferências estritas, sem necessidade de identificar pontos exatos de indiferença.

Uma característica importante do SAD utilizado com *FITradeoff* é que o decisor não precisa seguir uma sequência rígida de perguntas e respostas. Em vez disso, o método permite ao decisor a opção de omitir questões duvidosas e adaptar o processo ao contexto de decisão. No entanto, mesmo com a utilização de um SAD para analisar o problema e interagir com o decisor, foi constatado que diante da falta de experiência da empresa com os conceitos relacionados a multicritério, houve necessidade de incluir a participação de um analista ou facilitador para auxiliar o processo de tomada de decisão. Embora o uso de SAD multicritério seja apropriado para encontrar soluções para os problemas apresentados no interior da organização, sendo uma ferramenta útil para o auxílio à decisão, e haja manuais de usuário, os

conceitos de multicritério precisam ser bem explicados ao decisor, a fim de aumentar a confiabilidade do modelo de decisão.

Analisando os cenários criados para diferentes faixas de preço, pode-se concluir que o critério *preço* de um equipamento não deve ser priorizado em detrimento de outros aspectos, mas critérios relacionados a benefícios de médio e longo prazo devem ser avaliados com atenção, em especial quando os custos de aquisição dos equipamentos são elevados. Percebe-se isto como uma contradição à situação atual da empresa estudada, onde a maioria dos critérios considerados para escolher um fornecedor está relacionada com fatores econômicos.

O modelo MCDM/A também pode ser uma ferramenta para melhoria dos próprios fornecedores, isto é, eles podem usar os resultados sob a perspectiva do marketing para promoção de seus produtos. Por outro lado, se um fornecedor é mal classificado, ele pode usar esses resultados para a finalidade de *benchmarking* e tentar melhorar naqueles critérios que resultaram em desvantagem. A aplicação do modelo construído contribui para uma seleção mais adequada de fornecedores de equipamentos laboratoriais, colaborando para atingir os objetivos de melhor aproveitamento dos recursos governamentais investidos na empresa e desenvolvimento econômico e sustentável do país no setor de pesquisa agropecuária.

Em uma análise crítica, é possível afirmar do modelo desenvolvido representa uma ferramenta interessante para resolver um problema multicritério, através da avaliação objetiva das alternativas e critérios, considerando não somente a importância relativa, mas o espaço de consequências. Isto elimina vieses no processo decisório e permite à empresa justificar tanto a forma em que são tomadas as decisões, quanto garantir que a alternativa escolhida é aquela com o melhor desempenho, de acordo com as preferências do decisor, que por sua vez estão alinhadas com os objetivos da empresa. Nesse sentido, o procedimento de construção do modelo de decisão estudado permite abordar e resolver diversos problemas de decisão multicritério em uma organização.

5.2 Limitações e Sugestões para Trabalhos Futuros

O modelo desenvolvido na presente pesquisa foi construído para dar suporte a uma situação real de tomada de decisão. O procedimento de construção de modelos de decisão proposto por De Almeida (2013) constitui um *framework*, pelo qual o modelo de apoio à decisão aqui descrito é aplicável no contexto de seleção de fornecedores para equipamentos de pesquisa agropecuária. Caso for desejado resolver um problema similar em outras empresas ou setores industriais, deverão ser avaliadas todas as etapas de construção do

modelo, com o intuito de adaptá-lo à situação específica que requer de uma abordagem multicritério.

A pesar de que o modelo construído foi aplicado em seleção de fornecedores para equipamentos laboratoriais especificamente, também deve ser possível aplicá-lo em outras áreas da organização que visam estabelecer melhorias no procedimento de compras. Ao conhecer o método, os gerentes e executivos podem facilmente decidir sobre as orientações da cooperação empresarial e o que eles poderiam fazer, como planos de longo prazo com o fornecedor, ou determinar o conjunto ótimo de fornecedores para trabalhar em parceria. O modelo proposto dará uma imagem clara dos fornecedores em termos potenciais e sobre as chances de cooperação.

Uma vez que a empresa estudada tem especial interesse em melhorar seus processos administrativos, a etapa 12 da construção do modelo de implementação da decisão pode ser estendida posteriormente para avaliar quantitativamente o desempenho de modelo, comparando ganhos econômicos e de processos, antes e depois da aplicação. Como a empresa estudada ainda não é capaz de cumprir com eficiência a compra de equipamentos de laboratório, seria interessante analisar se foram evitados os problemas de tempos de entrega, manutenção, garantia e qualidade dos equipamentos após da escolha do fornecedor indicado pelo modelo, ao colocar como padrão geral para todas as compras posteriores.

Em última análise e dadas as vantagens encontradas ao aplicar o método *FITradeoff* aos problemas estudados, considera-se para trabalhos futuros explorar outras funcionalidades oferecidas pelo método, como sua flexibilidade e visualização de resultados parciais. Do mesmo modo, com o decorrer das aplicações foi detectada a necessidade do acompanhamento no processo de decisão por parte de um analista ou facilitador, particularmente na interação com o SAD. Contudo, este assunto deve ser explorado cuidadosamente em trabalhos posteriores que avaliem a interação e a influência da do analista ao longo do processo de elicitação das preferências. Um estudo interessante para ser realizado pode ser focado na hora de usar o SAD, pois permitiria validar as características do mesmo e encontrar possíveis pontos de melhoria que incrementem o entendimento do processo decisório.

O estudo foi realizado avaliando as preferências individuais de cada possível decisor, pelo qual não foi avaliada a aplicabilidade do modelo em estudos de decisão em grupo. Se bem que a escolha representará bem as preferências do decisor como esperado de acordo com o modelo decisório desenvolvido, deve ser avaliada a homogeneidade do grupo de decisores, pois não foi encontrada unanimidade na escolha da alternativa em nenhum dos cenários

avaliados. Este tema representa o ponto de partida para analisar problemas similares considerando-se como somente um grupo de decisores, isto é, realizar um estudo de decisão em grupo. Conforme esclarecido por De Almeida *et al.* (2012), quando se trata de decisão em grupo, devem-se obter suas estruturas de preferências, ainda que nem sempre busquem o mesmo resultado e sendo que a preocupação inicial se concentra em agregar preferências iniciais, pelo que este passo estaria adiantado de acordo com os resultados obtidos no presente trabalho. Embora que como ressaltado antes, os cenários descritos indicam decisões individuais, mas se for pensado para desenvolver uma metodologia padrão mais abrangente para a organização, pode ser revisado no contexto de decisão em grupo.

Espera-se que o presente estudo seja uma referência e ponto de partida para estudos posteriores que aprofundem e superem as limitações aqui descritas.

REFERÊNCIAS

ADENLE, A.A.; MANNING, L.; AZADI, H. Agribusiness innovation: A pathway to sustainable economic growth in Africa. **Trends in Food Science & Technology**, v. 59, p. 88-104, 2017.

AISSAOUI, N.; HAOUARI M.; HASSINI, E. Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. **Computers & Operations Research**, v. 34, n. 12, p. 3516–3540, 2007

AKTIN, T.; GERGIN, Z. Mathematical modeling of sustainable procurement strategies: three case studies. **Journal of Cleaner Production**, v. 113, n. 1, p. 767 -780, 2016.

ALENCAR L.H.; DE ALMEIDA, A.T. Supplier Selection Based on the PROMETHEE VI Multicriteria Method. In: EVOLUTIONARY MULTI-CRITERION OPTIMIZATION: 6th INTERNATIONAL CONFERENCE (EMO 2011), 6., 2011, Berlin, Heidelberg. **Lecture Notes in Computer Science**, Springer, 2010. v. 6576, p. 608-618.

ALENCAR, L.H.; DE ALMEIDA, A.T. Multicriteria decision group model for the selection of suppliers. **Pesquisa Operacional**, v. 28, n. 2, p. 321-337, 2008.

ALENCAR, L.H.; DE ALMEIDA, A.T. Selecting subcontractors in projects using a multicriteria group decision model. In: 2010 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT (IEEM), 2010, Macao, China. **IEEE**. p. 1563-1567.

ALENCAR, L.H.; DE ALMEIDA, A.T.; MOTA, C.M.M. Sistemática proposta para seleção de fornecedores em gestão de projetos. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 14, n. 3, p. 477-487, 2007.

ALSTON, J.M.; PARDEY, P.G. Antipodean agricultural and resource economics at 60: agricultural innovation. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 60, p. 554–568, 2016.

AMID, A.; GHODSYPOUR, S.H.; O'BRIEN, C. A weighted additive fuzzy multiobjective model for the supplier selection problem under price breaks in a supply Chain. **International Journal of Production Economics**, v. 121, p. 323-332, 2009.

ANANDA, J.; HERATH G. A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. **Ecological Economics**, v. 68, p. 2535-2548, 2009.

ANGELIS, A.; KANAVOS, P. Value-Based Assessment of New Medical Technologies: Towards a Robust Methodological Framework for the Application of Multiple Criteria Decision Analysis in the Context of Health Technology Assessment. **PharmacoEconomics**, v. 34, p.435–446, 2016.

ANIK, A.R.; RAHMAN, S.; SARKER, J.R. Agricultural Productivity Growth and the Role of Capital in South Asia (1980–2013). **Sustainability**, v. 9, p. 470, 2017.

ATHANASSOPOULOS, A.D.; PODINOVSKI, V.V. Dominance and Potential Optimality in Multiple Criteria Decision Analysis with Imprecise Information. **The Journal of the Operational Research Society**, v. 48, n. 2, p. 142-150, 1997.

BAI, C.; SARKIS, J. Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies. **International Journal of Production Economics**, v. 124, p. 252–264, 2010.

BELTON, V.; STEWART, T.J. **Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach**. New York: Kluwer Academic Publisher. Springer, 2002. 372 p.

BENABBOU, N.; PERNY, P.; VIAPPIANI, P. Incremental elicitation of Choquet capacities for multicriteria choice, ranking and sorting problems. **Artificial Intelligence**, v. 246, p. 152–180, 2017.

BOUYSSOU, D. Some remarks on the notion of compensation in MCDM. **European Journal of Operational Research**, v. 26, n. 1, p. 150-160, 1986.

BRITO, A.J.; DE ALMEIDA, A.T. Modeling a multi-attribute utility newsvendor with partial backlogging. **European Journal of Operational Research**, v. 220, n. 3, p. 820-830, 2012.

CARRIZOSA, E.; CONDE, E.; FERNÁNDEZ, F.R.; PUERTO, J. Multi-criteria analysis with partial information about the weighting coefficients. **European Journal of Operational Research**, v. 81, p. 291-301, 1995.

CARTER, C.R.; KAUFMANN, L.; WAGNER, C.M. Reconceptualizing Intuition in Supply Chain Management, **Journal of Business Logistics**, v. 38, n. 2, p. 80–95, 2017.

CHAI, J; LIU, J.N.K; NGAI, E.W.T. Application of decision-making techniques in supplier selection: a systematic review of literature. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 10, p. 3872-3885, 2013.

CHANG, K.H.; CHAIN, K.; WEN, T.C.; YANG, G.K. A Novel General Approach for Solving a Supplier Selection Problem. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 44, n. 5, p. 1911-1924, 2016.

CHANG, Y.; DONG, S. Evaluation of Sustainable Development of Resources-Based Cities in Shanxi Province Based on Unascertained Measure. **Sustainability**, v. 8, n. 6, p. 585, 2016.

CRAHEIX, D.; ANGEVIN, F.; DORÉ, T.; DE TOURDONNET, S. Using a multicriteria assessment model to evaluate the sustainability of conservation agriculture at the cropping system level in France. **European Journal of Agronomy**, v. 76, p. 75-86, 2016.

CRAHEIX, D.; BERGEZ, J.E.; ANGEVIN, F.; BOCKSTALLER, C.; BOHANEC, M.; COLOMB, B.; DORÉ, T.; FORTINO, G.; GUICHARD, L.; PELZER, E.; MESSEAN, A.; REAU, R.; SADOK, S. Guidelines to design models assessing agricultural sustainability, based upon feedbacks from the DEXi decision support system. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 4, p. 1431-1447, 2015.

CUI, L.X. Joint optimization of production planning and supplier selection incorporating customer flexibility: an improved genetic approach. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 27, p. 1017–1035, 2016.

DE ALMEIDA, A.T. **Processo de Decisão nas Organizações: Construindo Modelos de Decisão Multicritério**. São Paulo: Atlas, 2013. 256 p.

DE ALMEIDA, A. T.; ALMEIDA J. A.; ALMEIDA-FILHO, A. T.; COSTA, A. P. A new method for elicitation of criteria weights in additive models: flexible and interactive tradeoff. **European Journal of Operational Research**, v. 250, p. 179–191, 2016.

DE ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. 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**. New York: Springer(International Series in Operations Research & Management Science),v. 231, 2015. 248 p.

DE ALMEIDA, A. T.; MORAIS, D.M.; COSTA, A.P. C.; ALENCAR, L.H.; DAHER, S.F.D. **Decisão em Grupo e Negociação: Métodos e Aplicações**. São Paulo: Atlas, 2012. 248 p.

DE ALMEIDA, A.T. Multicriteria decision model for outsourcing contracts selection based on utility function and ELECTRE method. **Computers & Operations Research**, v. 34, n. 12, p. 3569-3574, 2007.

DE BOER, L.; WEGEN, L.V.D.; TELGEN, L. Outranking methods in support of supplier selection. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 4, n. 2-3, p.109-118, 1998.

DENG, X.; HU, Y.; DENG, Y.; MAHADEVAN, S. Supplier selection using AHP methodology extended by D numbers. **Expert Systems with Applications**, v. 41, p. 156-167, 2014.

DEYTIEUX, N.; MUNIER-JOLAIN, N.; CANEILL, J. Assessing the sustainability of cropping systems in single- and multi-site studies. A review methods. **European Journal of Agronomy**, v. 72, p. 107-126, 2016.

DIMIC, S.; D. PAMUCAR, D.; LJUBOJEVIC, S.; DOROVIC, B. Strategic Transport Management Models – The case Study of an Oil Industry. **Sustainability**, 8(9): 954, 2016.

DIMOVA, L.; SEVASTIANOV, P.; SEVASTIANOV, D. MCDM/A in a fuzzy setting: Investment projects assessment application. **International Journal of Production Economics**, v. 100, p. 10–29, 2006.

DULMIN, R.; MININNO, V. Supplier selection using a multi-criteria decision aid method. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 9, n. 4, p. 177–187, 2003.

DUMAN, G.M.; TOZANLI, O.; KONGAR, E.; GUPTA, S. A holistic approach for performance evaluation using quantitative and qualitative data: A food industry case study. **Expert Systems with Applications**, v. 81, p. 410-422, 2017.

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

FIGUEIRA, J.; MOUSSEAU, V.; ROY, B. ELECTRE methods. In: Greco, S.; Ehrgott, M.; Figueira, J. (Eds). **Multi Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**. New York: Springer, 2005. p.133–162.

FIGUEIRA, J.; ROY, B. Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. **European Journal of Operational Research**, v. 139, p. 317-326, 2002.

FITTIPALDI, E.H.D.; SAMPAIO, L.M.B.; DE ALMEIDA, A.T. Selection of electrical energy supplier based on multicriteria decision aid. In: 2001 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS. E-SYSTEMS AND E-MAN

FOR CYBERNETICS IN CYBERSPACE, Tucson, AZ, USA, 2001. **IEEE**. v. 3, p. 1918-1923.

FUGLIE, K. The growing role of the private sector in agricultural research and development world-wide. **Global Food Security**, v. 10, p. 29-38, 2016.

GEORGIADIS, D.R; MAZZUCHI, T.A; SARKANI, S. Using Multi Criteria Decision Making in Analysis of Alternatives for Selection of Enabling Technology. **Systems Engineering**, v. 16, n. 3, p. 287-303, 2013.

HAYASHI, K. Multicriteria aid for agricultural decisions using preference relations: Methodology and application. **Agricultural Systems**, v. 58, n. 4, p. 483 -503, 1998.

HAYASHI, K. Multicriteria analysis for agricultural resource management: A critical survey and future perspectives. **European Journal of Operational Research**, v. 122, n. 2, p. 486 -500, 2000.

HO, W.; XU, X.; DEY, P.K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 202, p. 16–24, 2010.

HOSSEINI, S.; BARKER, K. A Bayesian network model for resilience-based supplier selection. **International Journal of Production Economics**, v. 180, p. 68-87, 2016.

HU, C.; HU, J.; ZHOU, Q.; YANG, Y. Primary Discussion on Standardized Management of Purchasing Large Equipment for Measurement Technology Institution. **Physics Procedia**, v. 25, p. 1837–1844, 2012.

HURSON, C; SISKOS, Y. A synergy of multicriteria techniques to assess additive value models. **European Journal of Operational Research**, v. 238, n. 2, p. 540–551, 2014.

IGOULALENE, I.; BENYOUCEF, L.; TIWARI, M.K. Novel Fuzzy Hybrid Multi-Criteria Group Decision Making Approaches for the Strategic Supplier Selection Problem. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 7, p. 3342–3356, 2015.

IVLEV, I.; VACEK, J.; KNEPPO, P. Multi-criteria decision analysis for supporting the selection of medical devices under uncertainty. **European Journal of Operational Research**, v. 247, n. 1, p. 216–228, 2015.

JUNIOR, F.R. L.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L.C.R. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. **Applied Soft Computing**, v. 21, p. 194–209, 2014.

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 da Produção**. São Carlos, v. 20, n. 4, p. 781-801, 2013.

KADDANI, S.; VANDERPOOTEN, D.; VANPEPERSTRAETE, J.; AISSIA, H. Weighted sum model with partial preference information: Application to multi-objective optimization. **European Journal of Operational Research**, v. 260, p. 665–679, 2017.

KALISZEWSKI, I.; PODKOPAEV, D. Simple additive weighting-A metamodel for multiple criteria decision analysis methods. **Expert Systems with Applications: An International Journal archive**, v. 54, n. C, p. 155-161, 2016.

KAR, A.K. A Hybrid Group Decision Support System for Supplier Selection Using Analytic Hierarchy Process, Fuzzy Set Theory and Neural Network. **Journal of Computational Sciences**, v. 6, p. 23–33, 2015.

KARSAK, E.E.; DURSUN, M. An Integrated Supplier Selection Methodology Incorporating QFD and DEA with Imprecise Data. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 16, p. 6995–7004, 2014.

KAUFMANN, L.; GAECKLER, J. On the relationship between purchasing integration and purchasing decision-making speed. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 45, n. 3, p. 214-236, 2015.

KEENEY, R.L.; RAIFFA, H. **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs**. New York: Wiley Cambridge University Press, 1993. 569 p.

KEENEY, R.L.; VON WINTERFELDT, D. Practical Value Models. In: Edwards, W.; Miles, R. F.; von Winterfeldt, D. (Eds.). **Advances in Decision Analysis: From Foundations to Applications**. Published Articles & Papers, paper 36. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

KIM, Y.; KIM, H.S.; JEON, H. Economic Evaluation Model for International Standardization of Technology. **IEEE Instrumentation and Measurement Society**, p. 657 – 665, 2008.

KIRKWOOD, C.W.; CORNEER, J.L. The effectiveness of Partial information about multiattribute weights for ranking alternatives in multiattribute Decision Making. **Organization Behavior and Human Decision Processes**, v. 54, n. 3, p. 456-476, 1993.

KNIGHT, L.; TU, Y.; PRESTON, J. Integrating skills profiling and purchasing portfolio management: An opportunity for building purchasing capability. **International Journal of Production Economics**, v. 147, part B, p. 271–283, 2014.

KUEHNE, G.; NICHOLSON, C.; ROBERTSON, M.; LLEWELLYN, R.; MCDONALD, C. Engaging project proponents in R&D evaluation using bio-economic and socio-economic tools. **Agricultural Systems**, v. 108, p. 94-103, 2012.

LAMPRIPOULOU, C.; RENWICK, A.; KLERKX, L.; HERMANS, F.; ROEP, D. Application of an integrated systemic framework for analysing agricultural innovation systems and informing innovation policies: Comparing the Dutch and Scottish agrifood sectors. **Agricultural Systems**, v. 129, p. 40-54, 2014.

LEE, K.S.; PARK, K.S.; KIM, S.H. Dominance, potential optimality, imprecise information, and hierarchical structure in multi-criteria analysis. **Computers & Operations Research**, v. 29, n. 9, p. 1267-1281, 2002.

LIN, S. The critical success factors for a travel application service provider evaluation and selection by travel intermediaries. **Tourism Management**, v. 56, p. 126–141, 2016.

LINDNER, G.J. **Rising to new challenges in formulating for agriculture**. Pesticide Formulations and Delivery Systems: The Continued Evolution of Agrochemicals, 24th Volume: ASTM STP: ASTM International, West Conshohocken, 2005.1460 p.

LUGO, S.D.R. **Modelo multicritério para escolha de requerimentos de matéria prima em PME com ambientes JOB SHOP e elicitação de preferencias**. Recife, PE, 2016. 114 p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFPE.

MARDANI, A.; JUSOH, A.; NOR, K.M.D.; KHALIFAH, Z.; ZAKWAN, N.; VALIPOUR, A. Multiple criteria decision-making techniques and their applications – A review of the literature from 2000 to 2014. **Economic Research**, v. 28, n. 1, p. 516-571, 2015.

MÁRMOL, A.M.; PUERTO, J.; FERNÁNDEZ, F.R. The use of partial information on weights in multicriteria decision problems. **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, v. 7, n. 6, p. 322–329, 1998.

MAVI, R.K.; GOH, M.; MAVI, N.K. Supplier selection with Shannon entropy and fuzzy TOPSIS in the context of supply chain risk management. In: 12th International Strategic Management Conference (ISMC), Antalya, Turkey, OCT 28-30, 2016. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 235, p. 216-225, 2016.

MOHAMMADITABAR, D.; GHODSYPOUR, S.H.; HAFEZALKOTOB, A. A game theoretic analysis in capacity-constrained supplier-selection and cooperation by considering the total supply chain inventory costs. **International Journal of Production Economics**, v. 181, n. A, p. 87-97, 2016.

NAIR, A.; JAYARAM, J.; DAS, A. Strategic purchasing participation, supplier selection, supplier evaluation and purchasing performance. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 20, p. 6263-6278, 2015.

NEWMAN, R.G.; SIMKINS, R.J. **Capital Equipment Buying Handbook**. New York: Amacom, 1998. 450 p.

PARDO, M.D.C; URIOS, V. A critical review of multi-criteria decision making in protected areas. **Economía Agraria y Recursos Naturales**, v. 16, n. 2, p. 89-109, 2016.

PARK, K.S.; SHIN, D.E. Dominance, Potential Optimality, and Strict Preference Information in Multiple Criteria Decision Making. **International Journal of Management Science**, v. 17, n. 2, p. 63-84, 2011.

PICTET, J.; BOLLINGER, D. Extended use of the cards procedure as a simple elicitation technique for MAVT. Application to public procurement in Switzerland. **European Journal of Operational Research**, v. 185, p. 1300-1307, 2008.

POLLARD, S.J.T.; BROOKES, A.; EARL, M.; LOWE, J.; KEARNEY, T.; NATHANAILF, C.P. Integrating decision tools for the sustainable management of land contamination. **Science of the Total Environment**, v. 325, n. 1-3, p. 15 -28, 2004.

POTTS, J.; KASTELLE, T. Economics of innovation in Australian agricultural economics and policy. **Economic Analysis and Policy**, v. 54, p. 96-104, 2017.

PROST, L.; BERTHET, E.T.A.; CERF, M.; JEUFFROY, M.; LABATUT, J.; MEYNARD, J. Innovative design for agriculture in the move towards sustainability: scientific challenges. **Research in Engineering Design**, v. 28, p. 119 -129, 2017.

PUERTO, J.; MÁRMOL, A.M.; MONROY, L.; FERNÁNDEZ F.R. Decision criteria with partial information. **International Transactions in Operational Research**, v. 7, p. 51-65, 2000.

REZAEI, J.; NISPELING, T.; SARKIS J.; TAVASSZY, L. A supplier selection life cycle approach integrating traditional and environmental criteria using the best worst method. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 577–588, 2016.

RIABACKE., M; DANIELSON, M.; EKENBERG, L. State-of-the-Art Prescriptive Criteria Weight Elicitation. **Advances in Decision Sciences**, Article ID 276584, p. 24, 2012.

RODRIGUEZ, J.M.M.; KANG, T.H.A; DE ALMEIDA, A.T. Seleção de Fornecedores de Equipamentos em Empresa de Pesquisa Agropecuária: Aplicação de Duas Abordagens MCDM/A a Cenários Distintos. In: XLXI SBPO - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2017, Blumenau. **Anais do XLIX SBPO**. Blumenau: FURB, 2017, p. 1-12.

ROJAS-ZERPA, J.C; YUSTA, J.M. Application of multicriteria decision methods for electric supply planning in rural and remote areas. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, V. 52, p. 557–571, 2015.

ROMERO, C.; REHMAN, T. Natural resource management and the use of multiple criteria decision-making techniques: a review. **European Review of Agricultural Economics**, v. 14, p. 61–89, 1987.

ROUYENDEGH, B.D.; SAPUTRO, T.E. Supplier Selection Using Integrated Fuzzy TOPSIS and MCGP: A Case Study. **Procedia -Social and Behavioral Sciences**, v. 116, p. 3957-3970, 2014.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Nonconvex optimization and its applications: v. 12. New York: Springer, 1996, 292 p.

SALO, A.; PUNKKA, A. Rank Inclusion in Criteria Hierarchies. **European Journal of Operation Research**, v. 163, n. 2, p. 338-356, 2005.

SCHOLZ, M.; DORNER, V.; SCHRYEN, G.; BENLIAN, A. A Configuration-based recommender system for supporting e-commerce decisions. **European Journal of Operation Research**, v. 259, p. 205-215, 2017.

SCHUT, M.; ASTEN, P.V.; OKAFOR, C.; HICINTUKA, C.; MAPATANO, S.; NABAHUNGU, N.L.; KAGABO, D.; MUCHUNGUZI, P.; NJUKWE, E.; DONT SOP-

NGUEZET, P.M.; SARTAS, M.; VANLAUWE, B. Sustainable intensification of agricultural systems in the Central African Highlands: The need for institutional innovation. **Agricultural Systems**, v. 145, p. 165-176, 2016.

SCOTT, J.; HO, W.; DEY, P. K.; TALLURI, S. A decision support system for supplier selection and order allocation in stochastic, multi-stakeholder and multi-criteria environments. **International Journal of Production Economics**, v. 166, p. 226–237, 2015.

SISKOS, E.; TSOTSOLAS, N. Elicitation of criteria importance weights through the Simos method: A robustness concern. **European Journal of Operational Research**, v. 246, p. 543-553, 2015.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002, 747 p.

SOHN, S.Y.; JEON, J.; HAN, E.J. A new cost of ownership model for the acquisition of technology complying with environmental regulations. **Journal of Cleaner Production**, v. 100, p. 269–277, 2015.

SUN, C.; HUANG, H.; MIAO, M. Collaborative Decision-Making Method for Large Equipment Enterprise's Supplier Selection with Incomplete Information. In: 12th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM), 2015, Guangzhou. **Proceedings 2015 12th International Conference on Service Systems and Service Management**. IEEE, 2015, p. 1-5.

TAN, K.H.; LIM, C.H.; PLATTS, K.; KOAY, H.S. An intelligent decision support system for manufacturing technology investments. **International Journal of Production Economics**, v. 104, p. 179–190, 2006.

THORNTON, P.K.; SCHUETZ, T.; FÖRCH, W.; CRAMER, L.; ABREU, D.; VERMEULEN, S.; CAMPBELL, B.M. Responding to global change: A theory of change approach to making agricultural research for development outcome-based. **Agricultural systems**, v. 152, p. 145-153, 2017.

TING, S.C; CHO, D.I. An integrated approach for supplier selection and purchasing decisions. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 13, n. 2, p. 116 – 127, 2008.

UREÑA, R.; CHICLANA, F.; MORENTE-MOLINERA, J.A.; HERRERA-VIEDMA, E. Managing incomplete preference relations in decision making: A Review and Future Trends. **Information Sciences**, v. 302, p. 14–32, 2015.

VALKENHOEF, G.; TERVONEN, T. Entropy-optimal weight constraint elicitation with additive multi-attribute utility models. **Omega**, v. 64, p. 1–12, 2016.

VAN OORT, P.A.J.; SAITO, K.; DIENG, I.; GRASSINI, P.; CASSMAN, K.G.; VAN ITTERSUM, M.K. Can yield gap analysis be used to inform R&D prioritisation?. **Global Food Security**, v. 12, p. 109-118, 2017.

VARMAZYAR, M.; DEHGHANBAGHI, M.; AFKHAMI, M. A novel hybrid MCDM/A model for performance evaluation of research and technology organizations based on BSC approach. **Evaluation and Program Planning**, v. 58, p. 125–140, 2016.

VETSCHERA, R. Deriving rankings from incomplete preference information: A comparison of different approaches. **European Journal of Operational Research**, v. 258, p. 244-253, 2017.

VINCKE, P. **Multicriteria Decision-Aid**. New York: Wiley, 1992. 154p.

VITASEK, K. Strategic sourcing business models. **Strategic Outsourcing: An International Journal**, v. 9, n. 2, p. 126-138, 2016.

WEBER, C.A.; CURRENT, J.R.; BENTON, W.C. Vendor selection criteria and methods. **European Journal of Operational Research**, v. 50, p. 2-18, 1991.

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

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

WEICK, C.W. Agribusiness technology in 2010: directions and challenges. **Technology in Society**, v. 23, p. 59–72, 2001.

WETZSTEIN, A.; HARTMANN, E.; BENTON JR, W.C.; HOHENSTEIN, N. A systematic assessment of supplier selection literature – State-of-the-art and future scope. **International Journal of Production Economics**, v. 182, p. 304–323, 2016.

XU, Y.; PATNAYAKUNI, R.; TAO, F.; WANG, H. Incomplete interval fuzzy preference relations for supplier selection in supply chain management. **Technological and economic development of Economy**, v. 21, n. 3, p. 379-404, 2015.

YOU, X.Y.; YOU, J.X.; LIU, H.C.; ZHEN, L. Group Multi-Criteria Supplier Selection Using an Extended VIKOR Method With Interval 2-Tuple Linguistic Information. **Expert Systems with Applications**, v. 42, n. 4, p. 1906–1916, 2015.

ZOPOUNIDIS, C.; DOUMPOS, M. Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 138, n. 2, p. 229–246, 2002.