

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

FRANCISCO RODRIGUES LIMA JUNIOR

**Comparação entre os métodos *Fuzzy* TOPSIS e *Fuzzy* AHP
no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores**

São Carlos-SP

2013

FRANCISCO RODRIGUES LIMA JUNIOR

**Comparação entre os métodos *Fuzzy* TOPSIS e *Fuzzy* AHP
no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Área de Concentração: Gestão de Processos e Operações

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti

São Carlos-SP

2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA OBRA, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

L732c Lima Junior, Francisco Rodrigues
Comparação entre os métodos fuzzy TOPSIS e fuzzy AHP no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores / Francisco Rodrigues Lima Junior; orientador Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti. São Carlos, 2013.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

1. Seleção de Fornecedores. 2. Métodos Multicritério de Tomada de Decisão. 3. Fuzzy TOPSIS. 4. Fuzzy AHP. 5. Teoria dos Conjuntos Fuzzy. I. Título.

Agradecimentos

Agradeço imensamente ao meu orientador, Dr. Luiz Carpinetti, pela prestatividade, pela amizade e pela orientação exemplar que me foi dedicada durante a condução deste trabalho, na elaboração de artigos, no estágio PAE e em outros muitos momentos.

Agradeço aos meus pais, Francisco e Geralda, pelo apoio financeiro e pela dedicação à minha educação.

Agradeço a CAPES e à FAPESP pelo financiamento desta pesquisa.

Ao professor Dr. Ivan N. Silva, pelas suas excelentes aulas de sistemas *fuzzy* e suas dicas sobre codificação de algoritmos *fuzzy*, sem as quais a realização desta pesquisa jamais seria possível.

Ao meu amigo e colega *fuzzy*, Dr. Lauro Osiro, pelas valiosas discussões técnicas e pelo companheirismo e motivação constantes.

Aos professores Dr. Gilberto Ganga e Dr. Valério Salomon pelas contribuições oferecidas a minha pesquisa por meio da participação na banca de avaliação.

Agradeço muito aos meus professores da Universidade Estadual de Maringá-PR (UEM): aos professores Dr. Ademir Constantino e Dra. Josiane Melchiori, que me despertaram a paixão pelo trabalho que realizo atualmente, e aos meus orientadores de projetos de iniciação científica, de extensão e de monografia, Dra. Olívia Oiko, Dr. Edwin Galdamez e Dra. Luciana Martimiano, respectivamente, pela motivação e por me ensinarem a dar os primeiros passos na carreira acadêmica.

Aos colegas da pós-graduação, Catarina, Lillian, Larissa, Danilo, Juliana, Camila, Rafael, Yovana, Jefferson, Rodrigo, Thomas, Lucas, Cíntia, Roberta e Flávia, por me ajudarem na execução de diversas atividades e pelo companheirismo nas horas difíceis.

Às secretárias do departamento de Engenharia de Produção da EESC-USP, Laura, Thais, Vanessa, Sueli e Talita e a todos os demais servidores da USP que contribuíram para a realização do meu trabalho.

Agradeço “demais” aos meus amigos da Escola Agrotécnica e da UEM, especialmente aos Stallones e aos que puderam me visitar em São Carlos: Lopão, Danilo, Ashley, Cauê, Josi, Lucyano, Piovezan e Rodrigo. Da mesma forma, agradeço aos amigos de São Carlos, pelos cuidados, pela companhia e pela força: Murilo, Tatiana, Mariana, Nayana, André, Lecy e Caio, e ao irmão Christian, por todas as contribuições trazidas durante sua estadia no Brasil.

Muito obrigado a todos.

Resumo

LIMA JUNIOR, F. R. **Uma comparação entre os métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores.** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. 148 p.

A seleção de fornecedores de materiais e componentes usados na manufatura tem impacto significativo no custo e na qualidade de produtos manufaturados. Por isso, a seleção de fornecedores passou a ser vista como uma atividade bastante crítica para o desempenho da empresa compradora. Muitos estudos da literatura propõem o uso dos métodos multicritério *fuzzy* TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) e *fuzzy* AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para apoiar a seleção de fornecedores. Contudo, não são encontrados estudos que avaliem o desempenho destes métodos quando usados neste domínio de problema. Diante desta lacuna, este estudo compara os métodos *fuzzy* TOPSIS (CHEN, 2000) e *fuzzy* AHP (CHANG, 1996) no apoio à seleção de fornecedores. Esta pesquisa utiliza uma abordagem quantitativa descritiva empírica, baseada em modelagem e simulação. Os métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP foram aplicados em um caso ilustrativo de seleção de fornecedores. O desempenho dos fornecedores e o peso dos critérios foram avaliados por um especialista de uma empresa. Modelos de simulação foram implementados usando MATLAB® e aplicados na seleção de fornecedores de uma empresa de uma cadeia de suprimentos automotiva. Cinco fornecedores foram avaliados em relação à qualidade, custo, entrega, perfil e relacionamento. O peso dos critérios e o desempenho dos fornecedores foi avaliado por meio da opinião de um especialista da empresa. Posteriormente, os métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP foram comparados em relação à capacidade de apoiar a decisão em grupo, qualificação de fornecedores, escolha final de fornecedores, situações de compra e modelagem de decisões sob incerteza. A eficiência dos métodos em relação à complexidade computacional e à interação requerida com o usuário também foi comparada. Os resultados mostraram que o *fuzzy* TOPSIS é mais flexível e mais adequado que o *fuzzy* AHP para modelar diferentes tipos de cenários de seleção de fornecedores. A realização desta discussão é sugerida por Ertugrul e Karakasoglu (2008), e é relevante para ajudar pesquisadores e gestores na escolha de abordagens efetivas para lidar com diferentes cenários de seleção de fornecedores.

Palavras-chave: *Seleção de Fornecedores; Fuzzy TOPSIS; Fuzzy AHP; Tomada de Decisão Multicritério, Teoria dos Conjuntos Fuzzy.*

Abstract

LIMA JUNIOR, F. R. A comparative analysis of the methods Fuzzy TOPSIS and Fuzzy AHP to supplier selection. *Dissertation (Master's degree). Engineering School of São Carlos – University Of São Paulo, São Carlos, 2013. 148 p.*

Supplier selection of materials and components used in manufacturing has a significant influence on the cost, quality and delivery of products of the buying company. Therefore, supplier selection has become a very critical activity to the performance of the buying company. Several studies presented in the literature propose the use of fuzzy TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) and fuzzy AHP (Analytic Hierarchy Process) to aid the decision process of supplier selection. However, there are no comparative studies of these two methods when applied to the problem of supplier selection. Thus, this paper presents a comparative analysis of the methods fuzzy TOPSIS (Chen, 2000) and fuzzy AHP (Chang, 1996) applied to the problem of supplier selection. A descriptive quantitative approach was adopted as the research method. Algorithms of the methods fuzzy TOPSIS and fuzzy AHP were developed in Matlab© and applied to the selection of suppliers of a company in the automotive production chain. Five suppliers were evaluated regarding quality of conformance, cost, delivery, profile and relationship. The weight of the criteria and the performance of the suppliers were evaluated by specialist opinion from the studied company. The methods Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP were compared in terms of ability to support the group decision, supplier qualification, final choice of suppliers, buying situations and modeling decisions under uncertainty. The efficiency of the methods with respect to computational complexity and the required user interaction was also compared. The comparative analysis shows that Fuzzy TOPSIS presents better than Fuzzy AHP performance, especially in scenarios in which many alternatives are evaluated. Thus, Fuzzy TOPSIS is more flexible and appropriate than Fuzzy AHP to deal with supplier selection problem. This paper presents a new study, comparing the methods Fuzzy TOPSIS and Fuzzy AHP. As commented by Ertugrul and Karakasoglu (2008), a study such as this can contribute to the advance of knowledge, helping researchers and practitioners choosing more effective approaches to supplier selection.

Keywords: *Supplier Selection; Fuzzy TOPSIS; Fuzzy AHP; Multicriteria Decision Making, Fuzzy Set Theory.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Seleção de fornecedores sob a perspectiva da tomada de decisão multicritério	15
Figura 2 Fatores que contribuem para maior complexidade e importância da seleção de fornecedores	21
Figura 3 Processo de seleção de fornecedores. Adaptado De Boer, Labro e Morlacchi (2001).	22
Figura 4 Aspectos de influência na elaboração de estratégias de seleção de fornecedores.....	24
Figura 5 Alguns marcos do uso de métodos de decisão para seleção de fornecedores.....	36
Figura 6 Quantidade de estudos por ano de publicação	40
Figura 7 Quantidade de estudos por país de origem	40
Figura 8 Quantidade de estudos por periódico de origem.....	40
Figura 9 Quantidade de ocorrências de uso de métodos MCDM isoladamente	41
Figura 10 Frequência de uso das técnicas identificadas dentre todos os estudos.....	44
Figura 11 Listagem dos setores de atuação das empresas por quantidade de ocorrências.....	45
Figura 12 Número <i>fuzzy</i> triangular.....	53
Figura 13 Número <i>fuzzy</i> trapezoidal.	54
Figura 14 Exemplo de variável linguística <i>fuzzy</i>	55
Figura 15 Representação hierárquica de um problema de decisão no AHP	59
Figura 16 Método <i>fuzzy</i> TOPSIS para seleção de fornecedores.....	64
Figura 17 Escala usada para avaliar a importância dos critérios de decisão.....	67
Figura 18 Escala usada para avaliar o desempenho dos fornecedores	68
Figura 19 Modelo <i>fuzzy</i> AHP para seleção de fornecedores.....	70
Figura 20 Hierarquia de decisão do método <i>fuzzy</i> AHP.....	71
Figura 21 Comparação entre medidas sintéticas de preferência no <i>fuzzy</i> AHP	74
Figura 22 Escala comparativa usada para avaliar a importância dos critérios de decisão	76
Figura 23 Escala comparativa usada para avaliar o desempenho dos fornecedores	76
Figura 24 Contraste entre a quantidade de julgamentos requerida no <i>fuzzy</i> AHP e <i>fuzzy</i> TOPSIS.....	91
Figura 25 Distância entre uma pontuação P e as soluções ideais <i>fuzzy</i> segundo Chen (2000)	93
Figura 26 Distância entre uma P e as soluções ideais <i>fuzzy</i> segundo Chen, Lin e Huang (2006).....	93
Figura 27 Distância entre uma pontuação P e as soluções ideais <i>fuzzy</i> segundo o método sugerido.....	95
Figura 28 Proximidade das pontuações finais fornecidas pelo <i>fuzzy</i> TOPSIS dos valores esperados .	96
Figura 29 Síntese das principais recomendações para medição de desempenho organizacional.....	1033
Figura 30 Resultados fornecidos pelo <i>fuzzy</i> AHP nas simulações de monitoramento de desempenho	106

Figura 31 Resultados fornecidos pelo <i>fuzzy</i> TOPSIS nas simulações de monitoramento de desempenho.....	107
Figura 32 Comparação da complexidade computacional dos métodos <i>fuzzy</i> TOPSIS e <i>fuzzy</i> AHP .	109
Figura 33 Representação de julgamentos imprecisos usando números <i>fuzzy</i>	110
Figura 34 Representação de julgamentos aproximados usando números <i>fuzzy</i>	111
Figura 35 Exemplo de escala linguística considerando a subjetividade dos tomadores de decisão...	112
Figura 36 Parametrizações requeridas na modelagem de escalas linguísticas de avaliação	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Alguns critério de decisão para seleção de fornecedores.....	30
Quadro 2 Quantidade de artigos resultante de cada um dos procedimentos de coleta.....	39
Quadro 3 Listagem de métodos combinados	42
Quadro 4 Estudos comparativos entre métodos MCDM	48
Quadro 5 Parâmetros utilizados por estudos comparativos entre métodos MCDM	49
Quadro 6 Métodos e modelos <i>fuzzy</i> TOPSIS para seleção de fornecedores	58
Quadro 7 Métodos <i>fuzzy</i> AHP para seleção de fornecedores.....	62
Quadro 8 Conjuntos de termos linguísticos para avaliação da importância dos critérios.....	64
Quadro 9 Conjuntos de termos linguísticos para avaliação do desempenho dos fornecedores	64
Quadro 10 Critérios de decisão utilizados na seleção de fornecedores	67
Quadro 11 Julgamentos dos especialistas sobre o desempenho dos fornecedores	68
Quadro 12 Números <i>fuzzy</i> triangulares correspondentes aos julgamentos do especialista	68
Quadro 13 Matriz de desempenho dos fornecedores ponderada e normalizada.....	68
Quadro 14 Distâncias das alternativas de FPIS para cada critério.....	69
Quadro 15 Distâncias das alternativas de FNIS para cada critério	69
Quadro 16 Coeficiente de aproximação CC_i	69
Quadro 17 <i>Ranking</i> dos fornecedores avaliados.....	69
Quadro 18 Conjunto de termos linguísticos para avaliação de fornecedores	71
Quadro 19 Conjunto de termos linguísticos para avaliação de critérios.....	71
Quadro 20 Índice de consistência aleatória em diferentes cenários.....	72
Quadro 21 Critérios de decisão utilizados na aplicação do <i>fuzzy</i> AHP para seleção de fornecedores.	76
Quadro 22 Julgamentos linguísticos do especialista sobre a importância dos critérios de decisão	77
Quadro 23 Julgamentos linguísticos quanto ao desempenho dos fornecedores em qualidade (C1)	77
Quadro 24 Julgamentos linguísticos quanto ao desempenho dos fornecedores em custo (C2)	77
Quadro 25 Julgamentos linguísticos quanto ao desempenho dos fornecedores em entrega (C3)	77
Quadro 26 Julgamentos linguísticos quanto ao desempenho dos fornecedores em perfil (C4)	77
Quadro 27 Julgamentos linguísticos quanto ao desempenho dos fornecedores em relacionamento (C5)	77
Quadro 28 Valores dos números <i>fuzzy</i> correspondentes ao peso dos critérios	78
Quadro 29 Valores dos números <i>fuzzy</i> correspondentes ao critério qualidade (C1)	77
Quadro 30 Valores dos números <i>fuzzy</i> correspondentes ao critério entrega (C2)	78
Quadro 31 Valores dos números <i>fuzzy</i> correspondentes ao critério custo (C3)	78
Quadro 32 Valores dos números <i>fuzzy</i> correspondentes ao critério perfil do fornecedor (C4)	78

Quadro 33 Valores dos números <i>fuzzy</i> correspondentes ao critério relacionamento com o fornecedor (C5).....	78
Quadro 34 Índices de consistência obtidos para os julgamentos coletados	78
Quadro 35 Valores de S_i relativos ao desempenho dos fornecedores em cada critério.....	81
Quadro 36 Valores de preferência obtidos na comparação de medidas sintéticas.....	84
Quadro 37 <i>Ranking</i> fornecido pelo <i>fuzzy</i> AHP.....	85
Quadro 38 Parâmetros de comparação adotados	87
Quadro 39 Escala sugerida para ponderar a opinião de especialistas	89
Quadro 40 Equações sugeridas para ponderar a opinião de especialistas no <i>fuzzy</i> TOPSIS	89
Quadro 41 Equações sugeridas para ponderar a opinião de especialistas no <i>fuzzy</i> AHP.....	89
Quadro 42 Escala linguística utilizada nas simulações para análise dos resultados do <i>fuzzy</i> TOPSIS	94
Quadro 43 Resultados da simulação usando os métodos de Chen (2000) e Chen, Lin e Huang (2006) para composição da FPIS e da FNIS	94
Quadro 44 Resultados da simulação usando o procedimento sugerido para composição da FPIS e da FNIS	95
Quadro 44 Resultados fornecidos pelo <i>fuzzy</i> TOPSIS em relação ao cenário 1	96
Quadro 45 Resultados fornecidos pelo <i>fuzzy</i> TOPSIS em relação ao cenário 2	98
Quadro 46 Valores calculados para o autovetor de pesos usando diferentes operadores de agregação	99
Quadro 47 Descrição dos cenários de medição de desempenho simulados.....	105
Quadro 48 Indicadores de desempenho usados na simulação	105
Quadro 49 Adequação dos métodos avaliados à medição de desempenho organizacional.....	107
Quadro 50 Síntese dos resultados da comparação entre os métodos <i>fuzzy</i> TOPSIS e <i>fuzzy</i> AHP	115

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	14
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	16
1.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DA PESQUISA	17
1.4 CONTRIBUIÇÕES.....	18
1.5 PROCEDIMENTOS DE PESQUISA.....	18
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	19
CAPÍTULO 2: SELEÇÃO DE FORNECEDORES	21
2.1 O PROCESSO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES.....	21
2.2 RELACIONAMENTO COM FORNECEDORES	24
2.3 TAMANHO DA BASE DE FORNECEDORES.....	25
2.4 SITUAÇÕES DE COMPRA.....	26
2.5 ESTRATÉGIAS DE OPERAÇÕES	27
2.6 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES	27
2.7 INCERTEZAS NAS DECISÕES PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES	30
CAPÍTULO 3: TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO.....	32
3.1 FUNDAMENTOS DA TEORIA DE DECISÃO.....	32
3.2 MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO.....	33
3.3 MÉTODOS MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES: UM PANORAMA DO ESTADO DA ARTE.....	36
3.3.1 Procedimento de Pesquisa Bibliográfica.....	37
3.3.2 Apresentação e Discussão dos Resultados.....	38
3.3.3 Considerações Finais	46
3.4 ESTUDOS COMPARATIVOS ENTRE MÉTODOS DE DECISÃO.....	48
CAPÍTULO 4: MÉTODOS <i>FUZZY</i> TOPSIS E <i>FUZZY</i> AHP.....	51
4.1 TEORIA DOS CONJUNTOS <i>FUZZY</i>	51
4.1.1 Números Fuzzy	52
4.1.2 Variáveis Linguísticas.....	54
4.2 <i>FUZZY</i> TOPSIS	55
4.3 <i>FUZZY</i> AHP.....	59

CAPÍTULO 5 – CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DE DECISÃO	63
5.1 ESCOLHA DOS MÉTODOS <i>FUZZY</i> AHP E <i>FUZZY</i> TOPSIS	63
5.2 MÉTODO <i>FUZZY</i> TOPSIS PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES	63
5.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO <i>FUZZY</i> TOPSIS.....	67
5.3.1 Definição do Problema	66
5.3.2 Definição dos Critérios de Decisão e Escalas de Avaliação	67
5.3.3 Resultados da Simulação	68
5.4 MÉTODO <i>FUZZY</i> AHP PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES.....	70
5.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO <i>FUZZY</i> AHP.....	75
5.5.1 Definição do Problema	75
5.5.2 Definição dos Critérios e Escalas de Avaliação.....	75
5.5.3 Resultados da Simulação	76
CAPÍTULO 6: COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS <i>FUZZY</i> TOPSIS E <i>FUZZY</i> AHP.....	87
6.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO.....	87
6.2 ADEQUAÇÃO À TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO.....	87
6.3 INTERAÇÃO COM O USUÁRIO.....	90
6.4 ADEQUAÇÃO À QUALIFICAÇÃO DE FORNECEDORES	92
6.5 ADEQUAÇÃO À ESCOLHA FINAL	97
6.6 ADEQUAÇÃO A DIFERENTES SITUAÇÕES DE COMPRA	100
6.6.1 Compra pela Primeira Vez	100
6.6.2 Recompra modificada	101
6.6.3 Recompra de itens de rotina	101
6.6.4 Recompra de itens estratégicos e itens de gargalo.....	102
6.7 COMPLEXIDADE COMPUTACIONAL	107
6.8 ADEQUAÇÃO À TOMADA DE DECISÃO SOB INCERTEZA.....	110
6.9 SÍNTESE DA COMPARAÇÃO.....	114
CAPÍTULO 7: CONCLUSÃO.....	117
7.1 CONCLUSÃO	117
7.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS	119
7.3 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	120
REFERÊNCIAS	123

APÊNDICE A: QUESTIONÁRIO ELABORADO PARA COLETA DE DADOS	134
APÊNDICE B: CÓDIGOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO <i>FUZZY</i> TOPSIS EM LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO MATLAB®	137
APÊNDICE C: CÓDIGOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO <i>FUZZY</i> AHP EM LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO MATLAB®	141

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Mediante as configurações dos sistemas produtivos emergentes, os quais podem ser caracterizados pelo uso de tecnologias que ampliam as possibilidades de compra, pela adoção de metodologias de gestão que atuam no ambiente de cadeias de suprimentos e por mudanças constantes nas necessidades dos clientes, o processo de seleção de fornecedores em organizações industriais tem se tornado cada vez mais importante e complexo (DE BOER; WEGER; TELGEN, 1998; DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001; PIDDUCK, 2006; CASTRO, GOMEZ; FRANCO; 2009).

Em organizações industriais, a seleção de fornecedores é vista como a atividade mais importante da função de compras porque conduz a situações de tomada de decisão cujos resultados influenciam os custos de produção (CASTRO; GOMEZ; FRANCO, 2009) e a qualidade dos produtos e, conseqüentemente, afetam o desempenho da organização compradora (GONZÁLEZ et al., 2004; THRULOGACHANTAR; ZAILANI, 2011).

Além de influenciar esses fatores de produção, decisões efetivas em seleção de fornecedores são capazes de prover ganhos decorrentes da gestão de relações de cooperação com os fornecedores (KANNAN; VAN, 2006; HA; PARK; CHO, 2011). Desta forma, a seleção de fornecedores se configura também como uma atividade-chave na gestão de cadeias de suprimentos (NDUBISI et al., 2005; PRESSEY; WINKLHOFER; TZOKAS, 2009; THRULOGACHANTAR; ZAILANI, 2011).

Neste sentido, as estratégias de compra devem buscar o alinhamento dos objetivos de compra com os objetivos da organização, o que exige um papel mais pró-ativo por parte da empresa compradora na seleção de fornecedores e sua avaliação contínua (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001; PRESSEY; WINKLHOFER; TZOKAS, 2009).

Por depender de muitos fatores, o processo de seleção de fornecedores vem sendo predominantemente abordado na literatura acadêmica como um problema de decisão no qual

diversos critérios devem ser considerados no julgamento das possíveis empresas fornecedoras, conforme ilustra a Figura 1.

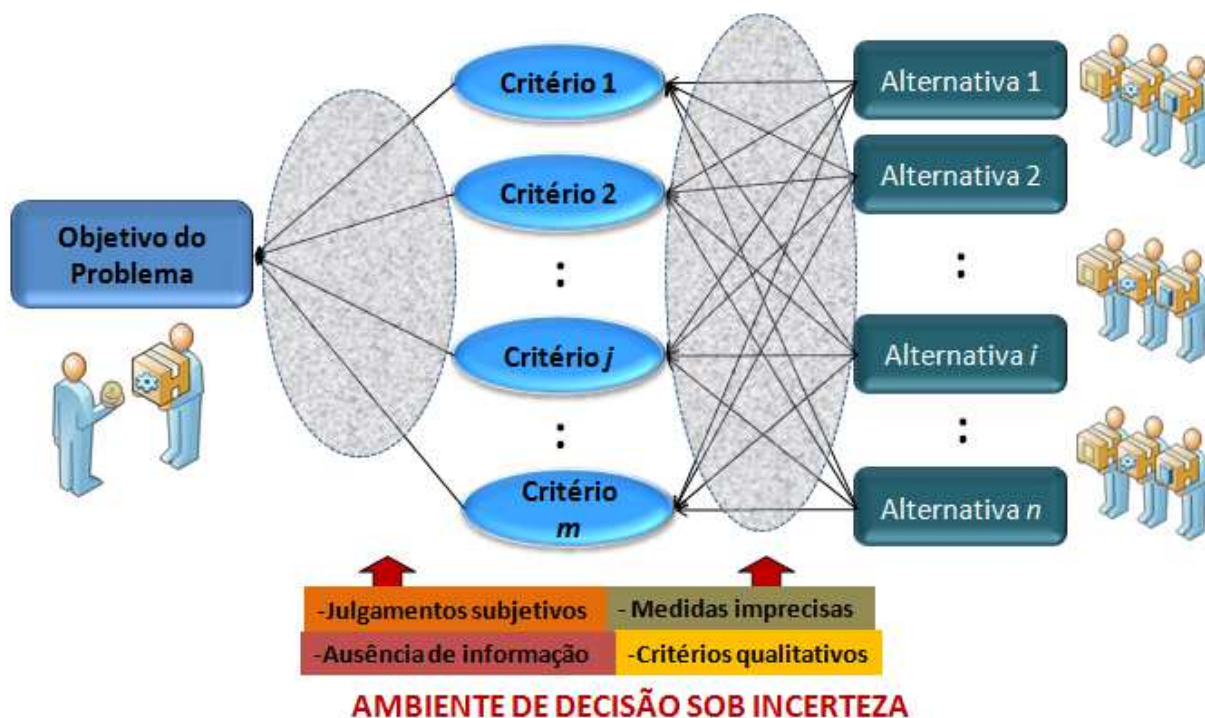


Figura 1 Seleção de fornecedores sob a perspectiva da tomada de decisão multicritério

Contudo, outro fator complicador é a natureza qualitativa e subjetiva de alguns critérios de decisão que vem sendo cada vez mais adotados. Isso inclui tanto critérios relacionados a fatores de produção como “flexibilidade” (LEE, 2009), “habilidade técnica” (KILINCCI; ONAL, 2011) e “nível de gestão interna” (PUNNIYAMOORTHY; MATHIYALAGAN; PARTHIBAN, 2011), quanto critérios que visam relações de cooperação na cadeia de suprimentos, como “suporte em desenvolvimento de produto” (ARAZ; OZKARAHAN, 2007), “construção de relacionamento” (LEE, 2009) e “posição de mercado do fornecedor” (CHAMODRAKAS; BATIS; MARTAKOS, 2010).

Aliado a este fator, os critérios de decisão comumente possuem diferentes níveis importância relativa (ou pesos) que também são expressos por julgamentos subjetivos. Desta forma, estes fatores acarretam na imprecisão dos valores numéricos que representam os pesos dos critérios e as pontuações de cada fornecedor em relação a determinados critérios (DE BOER; WEGEN; TELGEN, 1998; AMID; GHODSYPOUR; BRIEN, 2006; CHOU; SHEN; CHANG, 2007).

Para lidar com tal problema, métodos de decisão multicritério, técnicas estatísticas, de gestão e de inteligência artificial vem sendo explorados no desenvolvimento de modelos de

decisão multicritério. Estes métodos podem ser utilizados de forma isolada ou combinada, mesclando diferentes métodos (HA; KRISHNAN, 2008; HO; XU; DEY, 2010).

Por meio de uma pesquisa bibliográfica sistematizada que analisou 120 artigos recentes sobre o tema, foram identificadas 34 técnicas diferentes que vem sendo utilizadas na modelagem multicritério para apoiar a seleção de fornecedores. A maioria dos estudos aborda a seleção de fornecedores como um problema de decisão multiatributo e explora diferentes combinações entre técnicas para sua resolução. Nestes modelos, a abordagem *fuzzy* é a mais recorrente, seguida pelos métodos multiatributo AHP (*Analytic Hierarchy Process* - Método de Análise Hierárquica), ANP (*Analytic Network Process* – Método de Análise de Redes) e TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* - Técnica de Ordenação de Preferências por Similaridade com a Solução Ideal). Combinações entre técnicas como *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS são bastante recorrentes (LIMA JUNIOR, OSIRO, CARPINETTI, 2011).

Embora esses modelos de decisão sejam desenvolvidos para lidar com o mesmo domínio de problema, os métodos de decisão multicritério utilizados são bastante distintos em relação à complexidade de desenvolvimento, à representação do problema de decisão, às informações requeridas durante a modelagem, às tecnologias requeridas durante a implementação e até mesmo em relação às decisões finais fornecidas para um mesmo problema.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Diante do uso de uma variedade de técnicas bastante distintas entre si na tomada de decisão para seleção de fornecedores, verifica-se a necessidade de realizar estudos comparativos para avaliar a adequação dos métodos frequentemente adotados. Por meio desses estudos, é possível orientar pesquisadores e profissionais da área quanto à adequação desses métodos para determinados contextos de uso no domínio de seleção de fornecedores.

Porém, foram identificados na literatura somente dois estudos com tal finalidade. O estudo de Bhutta e Huq (2002) desenvolveu e comparou dois modelos utilizando o método AHP e Custos Totais de Propriedade (*Total Cost of Ownership* - TCO), respectivamente. Salomon e Shimizu (2006) comparou o desempenho dos métodos *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACBETH), AHP e *Elimination Et Choix Traduisant la Réalité* (ELECTRE I) quando aplicados a este domínio de problema. A abordagem *fuzzy*, que é a mais emergente dentre os estudos analisados por esta pesquisa, não

foi contemplada por nenhum estudo comparativo neste domínio de problema, evidenciando assim uma lacuna na literatura acadêmica relacionada.

Embora os métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP tenham sido comparados no estudo de Ertuğrul e Karakaşoğlu (2008) no contexto de tomada de decisão para seleção de localização de instalações, os próprios autores sugerem que outros estudos sejam desenvolvidos contemplando estes métodos em problemas de decisão como seleção de fornecedores, seleção de projetos e seleção de máquinas. Essa necessidade surge do fato de que métodos de decisão multicritério podem apresentar um desempenho diferente de acordo com o tipo de problema e o contexto de uso.

1.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DA PESQUISA

Mediante a importância desse tema de pesquisa e a lacuna identificada na literatura acadêmica, o objetivo principal desta pesquisa é comparar dois métodos de decisão multicritério sob o contexto de seleção de fornecedores, por meio do desenvolvimento de dois modelos de simulação baseados nas abordagens combinadas *Fuzzy* TOPSIS e *Fuzzy* AHP, e da adoção de parâmetros de comparação bem definidos. A seguir, são listados os objetivos específicos deste estudo:

- i.* Estruturar um referencial teórico a partir da literatura acadêmica relacionada aos temas seleção de fornecedores, teoria de decisão e métodos multicritério para seleção de fornecedores;
- ii.* Identificar e selecionar parâmetros da literatura para comparar métodos de decisão multicritério;
- iii.* Desenvolver dois modelos de simulação baseados em *Fuzzy* TOPSIS e *Fuzzy* AHP sob a abordagem multiatributo, com base em modelos existentes na literatura;
- iv.* Simular o processo de seleção de fornecedores a partir de um caso ilustrativo;
- v.* Realizar a comparação dos métodos de acordo com os parâmetros de comparação selecionados no item *ii*.

Optou-se pela abordagem multiatributo por esta considerar alternativas predeterminadas e, desta forma, propiciar soluções mais passíveis de implementação real que a abordagem multiobjetivo (BHUTTA; HUQ, 2002; KAHRAMAN, 2008). A escolha por comparar métodos na forma combinada se deu por esta abordagem ser a mais utilizada na

literatura deste tema, estando presente em 78 dos 120 modelos analisados (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2011; LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2013).

Quanto à escolha dos métodos, optou-se pela abordagem *fuzzy* e pelo método AHP por estes serem mais usados de acordo com o levantamento bibliográfico realizado. Embora o uso do ANP seja mais recorrente que o TOPSIS, considerando a grande semelhança do método AHP e do ANP, e a simplicidade e popularidade do método TOPSIS, optou-se por utilizar o método TOPSIS.

1.4 CONTRIBUIÇÕES

A realização deste estudo contribuirá para geração de teoria sobre o presente tema de pesquisa, pois produzirá os seguintes resultados:

i. Uma discussão sobre a adequação dos métodos *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS no contexto de seleção de fornecedores, que é útil para orientar pesquisadores e gestores industriais durante a escolha de métodos de decisão multicritério para lidar com determinados cenários de decisão;

ii. Uma revisão sistematizada da literatura sobre o uso de modelos de decisão multicritério para seleção de fornecedores, o contribui para a atualização do estado da arte deste tema de pesquisa.

Além disso, espera-se contribuir para a disseminação e o uso da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* e da Lógica *Fuzzy* em pesquisas que tangem a gestão da qualidade no Brasil, que atualmente se encontram em estado embrionário.

1.5 PROCEDIMENTOS DE PESQUISA

De acordo com a classificação proposta por Bertrand e Fransoo (2002), esta pesquisa pode ser caracterizada como uma **pesquisa quantitativa empírica descritiva baseada em modelagem e simulação**. Nesta abordagem de pesquisa, são utilizados modelos quantitativos, baseados em um conjunto de variáveis que representam um domínio específico, sendo definido um relacionamento causal e quantitativo entre essas variáveis. Por ser uma pesquisa empírica descritiva, está interessada na **análise de modelos** desenvolvidos com base na realidade (coleta de dados e medição), tendo a finalidade de **conduzir ao entendimento e explicação das características dos modelos**.

Quanto à simulação realizada, seguindo as definições de Pidd (2004), esta pode ser caracterizada como: **discreta** (as variáveis dependentes variam discretamente em pontos específicos do tempo simulado), **estática** (o fator tempo não influencia na simulação) e **determinística** (os valores das variáveis do modelo não apresentam flutuações aleatórias).

Diante dos objetivos propostos na subseção 1.3, os procedimentos adotados para a realização desta pesquisa consistiram em:

i. Pesquisa Bibliográfica: A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio da coleta de artigos nas bases *Science Direct*, *Emerald*, *Scopus*, *Web of Science*, *Scielo*, *Google Scholar*, bases de teses e dissertações de universidades brasileiras e outras bases de artigos de eventos científicos nacionais e internacionais. O levantamento bibliográfico teve a finalidade de contribuir para o mapeamento do estado da arte e identificar lacunas neste tema de pesquisa. Além disso, a revisão bibliográfica serviu para criar um embasamento teórico que subsidiou o desenvolvimento dos modelos e a comparação dos métodos multicritério;

ii. Modelagem e Simulação Computacional: Os modelos computacionais foram desenvolvidos com base nos métodos combinados *Fuzzy AHP* (CHANG, 1996) e *Fuzzy TOPSIS* (CHEN, 2000). A implementação computacional dos modelos foi feita utilizando a linguagem de programação MATLAB[®] (versão 7.8.0), o que propiciou maior flexibilidade para modelagem e forneceu uma visão mais ampla sobre o funcionamento dos modelos construídos;

iii. Pesquisa de Campo: Uma pesquisa de campo foi realizada com a finalidade de obter dados para simulação de um caso ilustrativo. A pesquisa de campo foi realizada em uma empresa de manufatura, na qual um especialista foi consultado quanto ao nível de importância de alguns critérios de seleção e ao desempenho de alguns fornecedores.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta pesquisa está estruturada da seguinte forma:

- O **Capítulo 2** contempla o processo de seleção de fornecedores, destacando alguns assuntos pertinentes ao tema;
- O **Capítulo 3** discute conceitos relacionados à modelagem de problemas de decisão. Este capítulo também faz um mapeamento do uso de métodos multicritério para seleção de fornecedores e analisa alguns estudos comparativos entre estes métodos;

- O **Capítulo 4** apresenta conceitos fundamentais da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* e discute sobre diferentes abordagens combinadas *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP;
- O **Capítulo 5** apresenta os dois modelos desenvolvidos e demonstra a aplicação destes;
- O **Capítulo 6** compara os métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP segundo alguns parâmetros de comparação selecionados, e também sugere algumas adaptações para melhor adequar os métodos comparados ao domínio de seleção de fornecedores;
- Por último, o **Capítulo 7** relata as dificuldades encontradas durante a condução desta pesquisa, sugere alguns temas para estudos futuros e apresenta as conclusões obtidas.

CAPÍTULO 2

SELEÇÃO DE FORNECEDORES

2.1 O PROCESSO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES

Conforme ilustra a Figura 2, muitos fatores vem contribuindo para aumentar a importância e a complexidade das decisões relacionadas à seleção de fornecedores, tais como: as variações quantitativas e qualitativas no comportamento da demanda, que acarretam em mudanças constantes nas necessidades de aquisição da empresa compradora (DE BOER; WEGEN; TELGEN, 1998; WANG; SHU, 1995); o uso da Internet, que amplia as possibilidades de fornecimento, mas dificulta a seleção de fornecedores devido ao grande número de alternativas a serem avaliadas (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001); a necessidade de considerar cada vez mais critérios na avaliação de fornecedores (DE BOER; WEGEN; TELGEN, 1998; BHUTTA; HUQ, 2002).

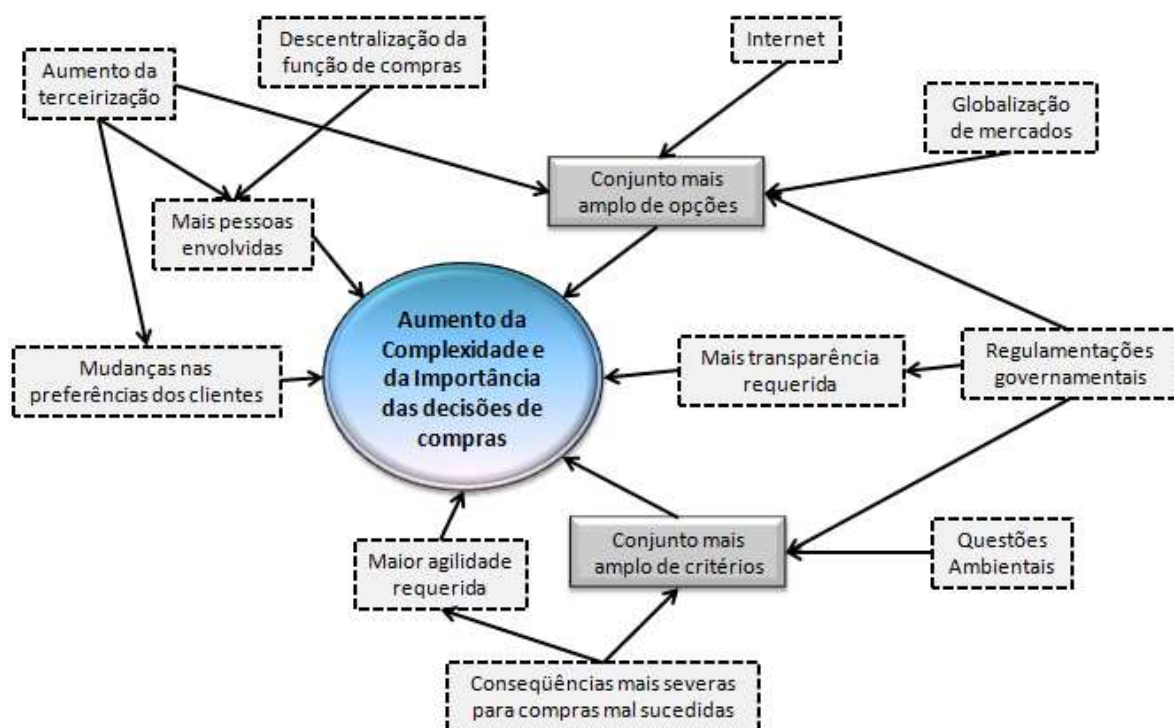


Figura 2 Fatores que contribuem para maior complexidade e importância da seleção de fornecedores
Adaptada de De Boer, Weger, Telgen (1998).

Por meio da consideração de critérios de decisão específicos, muitas organizações vêm buscando estabelecer relações colaborativas e de longo prazo com seus fornecedores, alcançando assim diversas vantagens competitivas (HA; PARK; CHO, 2011). Além disso, diante das atuais preocupações com a sustentabilidade ambiental, critérios de decisão “verdes” (*green criterias*) também passaram a ser considerados durante a seleção de fornecedores, que neste panorama passa a ser uma atividade de extrema importância (JABBOUR; JABBOUR, 2009).

Mediante a necessidade de considerar tantos fatores, as decisões de compras não devem ser tomadas isoladamente, sendo mais adequado estruturá-las em uma sequência de etapas inter-relacionadas de modo a incorporar as necessidades da organização em diferentes âmbitos (KINGSMAN, 1985; WEELE, 1994). De Boer, Labro e Morlacchi (2001) e Aissaoui, Haouari e Hassin (2007) estruturam o processo de seleção de fornecedores em 4 etapas inter-relacionadas que visam identificar um conjunto de possíveis fornecedores e reduzi-lo até a escolha final, conforme ilustra a Figura 3.

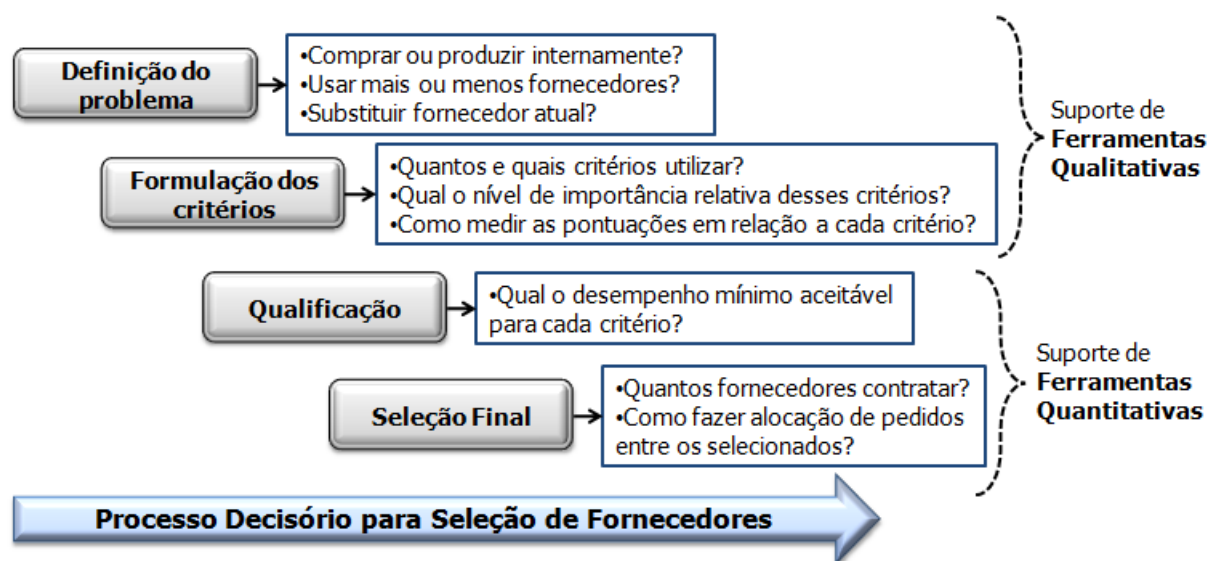


Figura 3 Processo de seleção de fornecedores. Adaptado De Boer, Labro e Morlacchi (2001).

As etapas de seleção de fornecedores mostradas na Figura 3 são descritas a seguir:

i. Definição do problema: O processo se inicia com um questionamento sobre o que exatamente se pretende alcançar por meio da seleção de fornecedores. De um lado, existem empresas que frequentemente buscam novos fornecedores para atualizar seu *mix* de produtos quanto à variedade e tipologia. Em outra via, há empresas situadas em ambientes que envolvem relacionamentos próximos com fornecedores, desenvolvendo parcerias e contratos de longo prazo. Desta forma, os responsáveis pela decisão se deparam com diferentes cenários

de decisão. Para fazer a escolha certa, é necessário definir inicialmente quais são os objetivos do processo de seleção;

ii. Formulação dos critérios: Nesta etapa a organização compradora deve focar esforços no estabelecimento de critérios de decisão que expressem claramente seus requisitos desde o nível operacional ao nível estratégico. De acordo com Kahraman, Cebeci e Ulukan, (2003), pode não ser fácil converter as necessidades em critérios utilizáveis, já que estas geralmente são expressas como conceitos qualitativos;

iii. Qualificação (ou pré-seleção): A qualificação consiste em reduzir o conjunto de todos fornecedores para um conjunto que possa ser avaliado mais detalhadamente durante a escolha final. A qualificação pode ser conduzida em um ou vários passos, nos quais diferentes métodos de eliminação podem ser aplicados caso uma alternativa não satisfaça alguma regra de seleção;

iv. Escolha Final: Nesta última etapa, pode-se considerar a seleção de um ou mais fornecedores. Se mais de um fornecedor for selecionado, esta etapa também deve envolver a alocação de pedidos entre os selecionados, a qual deve considerar a possibilidade de alocar um fornecedor para um produto ou para um grupo de itens de uma só vez.

Conforme mostra a Figura 3, as etapas “definição do problema” e “formulação de critérios” costumam requerer o suporte de ferramentas qualitativas, enquanto a qualificação de fornecedores e a seleção final requerem a adoção de ferramentas quantitativas. De Boer, Labro e Morlacchi (2001) analisaram dezenas de modelos de decisão e apontaram a ausência de ferramentas que apoiem a fase de definição do problema, ou seja, que ajudem a definir o que se espera alcançar por meio da seleção de fornecedores.

Contudo, em outro estudo de revisão bibliográfica sobre o tema, Castro, Gomez e Franco (2009) sugerem que a definição de estratégias para seleção de fornecedores seja realizada a partir de uma análise contextual que considera aspectos como: (1) o tamanho da base de fornecedores; (2) o relacionamento com os fornecedores; (3) a estratégia de operações e (4) as situações de compra. Além desses aspectos, outros autores apontam para a necessidade de modelar incertezas no processo decisório para seleção de fornecedores (DE BOER; WEGER; TELGEN, 1998).

Considerando as etapas do *framework* proposto De Boer, Labro e Morlacchi (2001) e os demais estudos analisados, a Figura 4 apresenta uma visão de alguns aspectos pertinentes a cada uma das etapas do processo de seleção de fornecedores.

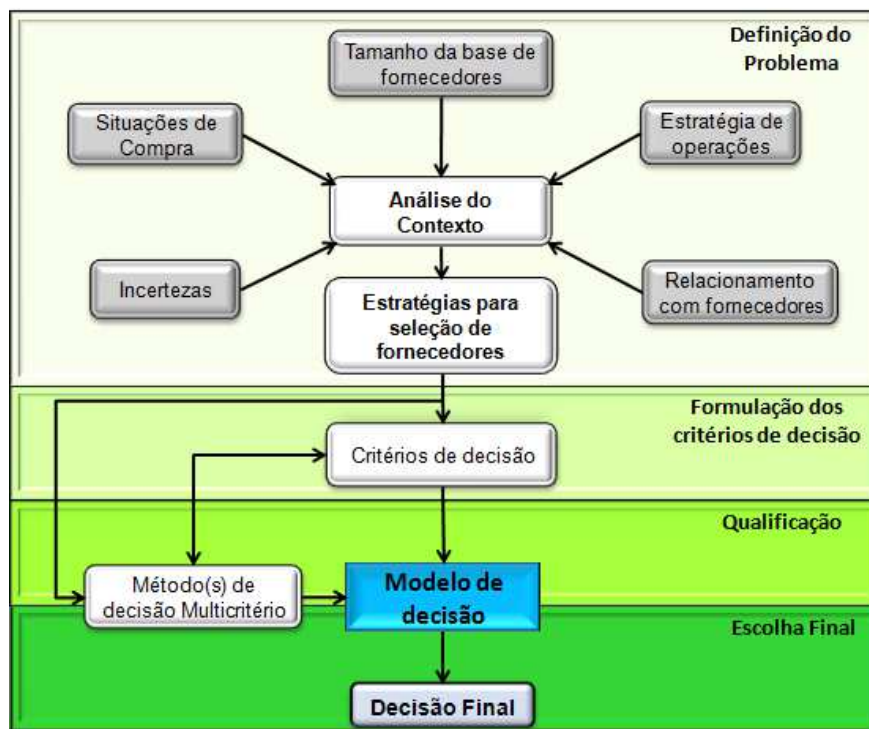


Figura 4 Aspectos de influência na elaboração de estratégias de seleção de fornecedores

Na Figura 4, cada um dos 5 aspectos pertinentes à análise contextual determina diferentes desdobramentos para as fases posteriores da seleção de fornecedores, influenciando na escolha dos critérios e também do(s) método(s) de decisão multicritério. A quantidade e a natureza (qualitativa ou quantitativa) dos critérios de decisão, por sua vez, influenciarão na escolha do método adequado.

Apesar de alguns dos aspectos pertinentes à elaboração de estratégias de seleção de fornecedores serem inter-relacionados, diante da importância de cada um e da extensão do conteúdo a ser abordado, estes são discutidos individualmente nas subseções a seguir.

2.2 RELACIONAMENTO COM FORNECEDORES

As relações entre empresas compradoras e fornecedoras podem se dar na forma de simples transações comerciais sem a intenção de duração em longo prazo ou, em outro extremo, podem se apresentar como parcerias estratégicas de longo prazo, baseadas em colaboração e confiança mútuas. Relações híbridas entre esses dois extremos também podem existir, de acordo com diferentes modelos de segmentação de fornecedores (CASTRO; GOMEZ; FRANCO, 2009).

Kannan e Van (2006) entrevistaram 527 gerentes de compras investigando a relação entre 4 variáveis relacionadas à gestão de fornecimento. Os resultados mostraram que um

“processo de seleção de fornecedores efetivo” e o “comprometimento entre o comprador e fornecedor” contribuem positivamente para geração de um “relacionamento colaborativo” que tende a aumentar o “desempenho” de ambas as organizações. Ha, Park e Cho (2011) acrescentam que a colaboração entre parceiros na cadeia de suprimentos resulta em baixos custos, alto desempenho logístico, agrega valor à cadeia em questão e aprimora o desempenho em serviços, criando assim benefícios para todas as partes. Neste sentido, práticas de gestão para diferentes tipos de relacionamentos com fornecedores vem sendo adotadas.

Na literatura acadêmica, podem ser encontradas diversas práticas de suporte e desenvolvimento de fornecedores. Dentre estas, citam-se o suporte do comprador a processos de melhoria contínua do sistema de qualidade do fornecedor (*Continuous Improvement*), o desenvolvimento conjunto de produtos da empresa compradora (*Early Supplier Involvement*), a instalação de unidades de produção dos fornecedores dentro de fábricas do comprador (*Modular Consortium*), o gerenciamento de estoque pelo fornecedor por meio da consignação de mercadorias (*Vendor Management Inventory – VMI*) e o planejamento, previsão e reabastecimento colaborativos (*Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment-CPFR*), que envolve integração entre elos na cadeia de suprimentos e faz necessário o compartilhamento de informações (COLLINS; BECHLER; PIRES, 1997; JABBOUR; JABBOUR, 2009; PARK et al., 2010).

Apesar dos investimentos necessários para implantação efetiva dessas práticas, cada uma dessas é capaz de gerar benefícios para ambas as partes. O fornecedor conhecerá melhor as necessidades quantitativas e qualitativas do comprador e desenvolverá novas competências, enquanto o comprador garantirá um abastecimento em conformidade com seus requisitos. Além disso, práticas colaborativas podem conduzir à melhoria da qualidade dos produtos e dos processos produtivos e diminuir custos do comprador e do fornecedor.

Vale ressaltar que o desenvolvimento de relações colaborativas é benéfico quando os resultados alcançados pelo fornecedor compensem os investimentos realizados. Além disso, o desenvolvimento de relações colaborativas implica na incorporação de requisitos correspondentes durante o desenvolvimento de modelos de decisão para tomada de decisão, o que exige mais esforços para avaliação dos fornecedores.

2.3 TAMANHO DA BASE DE FORNECEDORES

Há duas possíveis alternativas quanto ao tamanho requerido para a base de fornecedores. A primeira alternativa é o abastecimento com fonte única, que é recomendado

somente quando algum fornecedor é capaz de suprir com excelência todas as necessidades do comprador (SLACK et al., 2006; CASTRO; GOMEZ; FRANCO, 2009).

A segunda alternativa é o abastecimento com fonte múltipla, que é necessário quando um fornecedor não é capaz de suprir todas as necessidades do cliente. Nesse caso, o comprador deve procurar satisfazer seus requisitos de forma distribuída entre fontes de abastecimento (CASTRO; GOMEZ; FRANCO, 2009).

Desta forma, utilizar somente um fornecedor é inviável por reduzir a oportunidade de aproveitar outras ofertas de fornecedores alternativos, enquanto optar por um grande quadro de fornecedores pode dificultar a construção de relações estreitas e de longo prazo. Sendo assim, vários autores na literatura recomendam a utilização de uma base reduzida de fornecedores.

2.4 SITUAÇÕES DE COMPRA

Faris, Robinson e Wind (1967) definem três possíveis situações de compra considerando o relacionamento prévio com o fornecedor. Com base em Kraljic (1983), De Boer, Labro e Morlacchi (2001) acrescentaram a este estudo a consideração de diferentes níveis de importância para diferentes categorias de produtos (itens de rotina, itens de alavancagem, itens estratégicos e itens de gargalo). Desta forma, com base nestes autores, definem-se as seguintes situações de compra:

i. Compra pela primeira vez: Ocorre no lançamento de um novo produto, não existindo experiência prévia com o fornecedor;

ii. Recompra modificada: Ocorre quando é realizada uma compra de produtos existentes de fornecedores conhecidos, uma compra de produtos existentes de fornecedores desconhecidos ou uma compra de novos produtos de fornecedores conhecidos;

iii. Recompra estratégica de itens de rotina: Ocorre quando os fornecedores são conhecidos e o processo de compra é realizado rotineiramente com base em contratos estabelecidos, estando fixadas as condições de entrega, qualidade e outras variáveis pertinentes;

iv. Recompra estratégica de itens estratégicos e itens de gargalo: Itens estratégicos possuem um valor alto de aquisição, enquanto itens de gargalo possuem baixa disponibilidade no mercado. Neste sentido, esta situação se difere da recompra estratégica de itens de rotina devido à baixa disponibilidade de fornecedores, às especificações únicas de um item ou à escassez de material.

Diante dessas peculiaridades, as diferentes situações de compra requerem diferentes estratégias para seleção de fornecedores. Durante o desenvolvimento de modelos de decisão para seleção de fornecedores, deve-se considerar em qual dessas situações de compra o modelo será usado. Contudo, poucos modelos na literatura se atentam para estas peculiaridades da seleção de fornecedores.

2.5 ESTRATÉGIAS DE OPERAÇÕES

Segundo Hayes et al. (2004), a estratégia de operações descreve como a organização se propõe a dirigir e desenvolver todos os recursos investidos nas operações, de forma a melhor executar sua missão, sendo responsável por determinar a arquitetura do sistema fabril, pela decisão de fazer ou comprar e por determinar como deve ser o relacionamento com os fornecedores.

De acordo com Castro, Gomez e Franco (2009), a consideração da estratégia de operações durante a elaboração de estratégias para seleção de fornecedores tem finalidade de alinhar os objetivos que tangem a competitividade (qualidade, velocidade, confiança, flexibilidade e custo) e os interesses da organização com a função de compras. Desta forma, a estratégia de operações adotada pela organização pode influenciar no nível de importância de cada um dos critérios usados na seleção de fornecedores.

Os requisitos relacionados à estratégia de operações e ao desenvolvimento de relacionamentos colaborativos devem ser desdobrados e expressos por meio de critérios de decisão, requerendo a participação de representantes das áreas correspondentes na etapa de formulação dos critérios de seleção de fornecedores.

2.6 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES

Os critérios de decisão para seleção de fornecedores (ou critérios de seleção de fornecedores) são medidas utilizadas na avaliação de alternativas de fornecimento. A literatura acadêmica identifica dezenas de critérios que podem ser considerados durante a seleção de fornecedores. No entanto, a empresa compradora precisa desenvolver meios efetivos de medir cada um de seus critérios (KAHRAMAN; CEBECI; ULUKAN, 2003).

Beamon (1999) ressalta que os critérios para seleção de fornecedores devem atender às seguintes premissas: (1) Serem precisos e possuir um nome específico; (2) Serem calculados a partir de todos os atributos pertinentes a cada um dos critérios de decisão; (3) Serem

universais e comparáveis a partir de várias condições de operação; e (4) Serem consistentes com as metas e objetivos da organização. Kahraman, Cebeci e Ulukan (2003) subdividem esses critérios em quatro categorias:

i. Critérios relativos aos fornecedores: São utilizados para avaliar se os fornecedores são adaptáveis às estratégias de fornecimento e de tecnologia da organização compradora, medindo assim aspectos importantes do negócio, como o poder financeiro, a abordagem de gerenciamento, a capacidade produtiva, a habilidade técnica e os recursos de suporte do fornecedor;

ii. Critérios de desempenho de produtos: São usados para examinar características funcionais importantes e medir a usabilidade dos produtos a serem comprados. A definição exata dos critérios depende dos produtos a serem adquiridos;

iii. Critérios de desempenho de serviços: Esses critérios servem para avaliar os benefícios oferecidos pelos serviços dos fornecedores, já que qualquer compra envolve algum grau de serviço, como processamento de pedidos, entrega e suporte;

iv. Critérios associados a custos: Historicamente esta é a categoria de critérios vista como a mais importante nas organizações, sendo alguns critérios mais evidentes, como o preço de compra, o custo de transporte e de tarifas. Gastos operacionais decorrentes de processamento de transações também podem ser considerados, embora exijam mais esforços para serem estimados.

Um estudo pioneiro sobre critérios para seleção de fornecedores foi feito por Dickson (1966) e contou com a participação de 170 profissionais de compras, os quais forneceram informações relacionadas ao uso de 23 critérios propostos pelo autor, tais como “qualidade”, “preço”, “capacidade técnica”, “localização geográfica”, “garantia”, “posição financeira”, “entrega”, “histórico de desempenho”, “serviços de manutenção”, entre outros. Os resultados do estudo mostraram que “qualidade”, “entrega”, “histórico de desempenho” e “garantia” foram considerados os critérios de maior relevância pelos entrevistados.

Alguns anos depois, Weber, Current e Benton (1991) realizaram uma pesquisa utilizando 74 artigos publicados após o trabalho de Dickson (1966) e constatou que os critérios que mais receberam atenção dentre os estudos selecionados são “custo”, “qualidade” e “entrega”, o que evidencia um aumento da importância do critério “custo”, já que este foi apontado por Dickson (1966) como o sexto critério mais relevante dentre os 23 listados.

Já o estudo de Frödell (2011) contou com a participação de 12 profissionais de compras da indústria de construção civil da Suécia. O estudo constatou que os critérios que

costumam receber mais atenção estão associados primeiramente ao “custo”, seguido por “competências chave”, “complacência” e “capacidade para colaboração e desenvolvimento”, o que aponta uma tendência para o aumento da importância de critérios relacionados a parcerias e colaboração em redes de suprimentos.

O Quadro 1 lista alguns critérios frequentemente adotados em modelos de decisão multicritério para seleção de fornecedores.

Quadro 1 Alguns critério de decisão para seleção de fornecedores

Proposto por	Kannan e Tan (2002)	Kahraman et al. (2003)	Katsikeas et al. (2004)	Chan e Kumar (2007)	Kirytopoulos et al. (2008)	Guneri et al. (2009)	Shen e Yu (2009)	Ordoobadi (2009)	Boran et al. (2009)	Amin e Razmi (2009)	Ku et al. (2010)	Wang (2010)	Lin, Chen e Ting. (2011)	Büyükoçkan e Çifçi (2011)
Capacidade Técnica	X		X	X	X		X			X	X	X	X	X
Compromisso com a qualidade	X	X	X	X		X					X		X	X
Índice de conformidade	X			X	X		X		X		X		X	X
Resposta à mudança	X		X	X	X			X			X	X		
Custo/Preço	X		X		X			X	X		X	X	X	X
Poder Financeiro	X	X		X	X					X	X	X		X
Facilidade de Comunicação	X		X	X	X			X				X	X	
Entrega	X			X	X			X	X		X	X	X	
Reputação			X	X	X	X				X			X	
Relacionamento	X					X		X	X	X			X	
Desempenho do produto								X		X		X	X	X
Confiabilidade de entrega			X		X	X		X		X				
Garantia (pós venda)		X	X				X	X				X	X	
Localização Geográfica	X			X							X		X	
Fatores ambientais		X						X						X
Fatores sociais														X
Custos logísticos		X												
Inovação								X						
Capacidade Técnica							X							

Adaptado de Lima Junior e Carpinetti (2012).

Em situações de compra pela primeira vez, é interessante observar que mesmo para critérios de natureza quantitativa, ainda que o fornecedor em questão já tenha fornecido outro produto para a empresa compradora, a avaliação sobre qual será seu desempenho futuro é na melhor das hipóteses uma boa estimativa. Neste contexto, verifica-se que medidas relacionadas aos critérios de seleção de fornecedores são suscetíveis a diferentes fenômenos de incerteza, discutidos detalhadamente a seguir.

2.7 INCERTEZAS NAS DECISÕES PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES

O termo “incerteza” não possui um conceito único e, por isso, esta palavra tem recebido diferentes significados para contextos específicos. Para o domínio de seleção de fornecedores, a definição de Zimmermann (1991) parece ser a mais apropriada. Zimmermann (1991) explica que incerteza é um fenômeno que implica em uma situação na qual um indivíduo não dispõe de informação quantitativa e qualitativa apropriada para descrever ou prever deterministicamente e numericamente um sistema, seu comportamento ou outras características.

A ausência de informação é provavelmente a mais frequente causa de incerteza, estando diretamente relacionada a um fenômeno de incerteza denominado “imprecisão” ou “aproximação” dos dados. A imprecisão consiste na **ausência de acurácia nos valores** das variáveis devido à dificuldade do tomador de decisão de fornecer valores de julgamentos de forma completamente consistente, mesmo não existindo a possibilidade de flutuação aleatória destes valores (CELIKYLMAZ; TÜRKSEN, 2009; KAHRAMAN, 2008; SMITH; STERN, 2011). Neste contexto, as estimativas obtidas devem ser representadas como valores aproximados, tais como “em torno de 2” ou “aproximadamente 90”.

Outra causa frequente é a ambiguidade, que ocorre quando uma informação linguística possui mais de um significado, o que é muito possível de acontecer, já que muitas palavras possuem diferentes significados de acordo com seu contexto. A ambiguidade implica em um fenômeno de incerteza definido como **indeterminação**. A indeterminação ocorre quando um tomador de decisão não sabe exatamente o que deve medir durante a avaliação do fornecedor em relação a um dado critério, o que faz com que a propriedade a ser medida seja resultado de uma **escolha arbitrária** (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001). Como os nomes de certos critérios não são unívocos (por exemplo, capacidade de P&D), considerando as diversas métricas que podem ser usadas para avaliar um fornecedor, a escolha de um ou mais atributos será feita de acordo com a interpretação do tomador de decisão.

As causas de incertezas apresentadas até então consideram somente informações objetivas. Em outra via, a crença é uma causa de incerteza que difere-se das demais por considerar a **subjetividade** dos tomadores de decisão. Neste sentido, a subjetividade é um tipo de incerteza formada a partir de eventos mentais e cognitivos cujos resultados são voltados para o próprio indivíduo (por exemplo, ver, imaginar e refletir). Como são estes processos cognitivos que permitem a um indivíduo realizar julgamentos, a impressão individual do especialista é incorporada ao modelo de decisão por meio do viés existente nos julgamentos fornecidos pelo mesmo (SMITH; STERN, 2011). Neste sentido, a subjetividade

é um fenômeno de incerteza cuja existência é irrefutável em problema de decisão, inclusive na seleção de fornecedores.

Outras causas de incerteza menos relevantes para esta pesquisa são incertezas estocásticas e incertezas nebulosas, as quais são discutidas em Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2012).

Dadas as peculiaridades do domínio de seleção de fornecedores, é possível notar que a ausência de uma abordagem adequada para lidar com incertezas inerentes às decisões de seleção de fornecedores pode conduzir a resultados mal sucedidos. O Capítulo 3, a seguir, discute alguns aspectos relevantes ao desenvolvimento de modelos de decisão multicritério para seleção de fornecedores.

CAPÍTULO 3

TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

3.1 FUNDAMENTOS DA TEORIA DE DECISÃO

Os primeiros estudos acerca do processo de tomada de decisão surgiram na França e datam do século XVII, quando vários métodos de eleição e escolha social foram desenvolvidos. O processo de tomada de decisão (*decision making*) é amplamente definido como a realização de qualquer seleção ou escolha de alternativas e, devido ao vasto campo de abrangência, tem sua importância reconhecida em várias disciplinas das ciências naturais e sociais (KLIR, 1995; GOMES, 2004; WINSTON, 2004).

Segundo Klir (1995), uma decisão pode ser afetada por diversos fatores, tais como o tempo disponível para decidir, a importância da decisão, disponibilidade de informações, os tomadores de decisão e os possíveis conflitos de interesses. Quanto mais tempo disponível para decidir, melhor estruturado será o problema de decisão. O grau de estruturação da decisão diz respeito à possibilidade de a decisão ser acompanhada em seu processo de preparação e de conclusão ou, ainda, ser reproduzida por outras pessoas, em outras ocasiões e com os mesmos resultados. Quanto maior for o grau de estruturação, maior será o suporte oferecido pelas ferramentas e métodos capazes de aumentar a racionalidade da decisão (HOLSAPPLE; WHINSTON, 1996; ANDRADE, 1998).

A importância da decisão pode ser determinada segundo seu nível estratégico, o qual é medido por meio da quantidade de atividades e de resultados da organização afetados pela decisão (ANDRADE, 1998; GOMES, 2004). Já a disponibilidade de informações se refere à existência de evidências avaliáveis para quantificar os valores das variáveis pertinentes ao problema de decisão.

Por último, os **tomadores de decisão** (*decision makers*) constituem um fator de extrema importância nas decisões. A modelagem de um problema de decisão pode contar com a participação de um ou mais tomadores de decisão e utilizar um ou mais critérios de avaliação (KLIR, 1995; GOMES, 2004; KAHRAMAN, 2008). Em situações práticas de

seleção de fornecedores, os julgamentos de um especialista ou de um comitê usualmente são considerados na definição dos critérios e na avaliação das alternativas.

Diante de decisões que possuem alto nível estratégico, que necessitam de alto grau de estruturação e que contam com múltiplos tomadores de decisão, cada vez mais as organizações têm optado pelo uso de sistemas de suporte à decisão. Turban, Sharda e Derlen (2005) definem sistemas de suporte à decisão (*decision support systems* – DSS) como sistemas baseado em interação com o computador que ajuda tomadores de decisão a utilizar dados e modelos para resolver problemas desestruturados.

Modelos são amplamente definidos na literatura como “uma abstração da realidade” que é cuidadosamente selecionada, já que nenhum modelo é capaz captar todos os elementos do mundo real. Por isso, os modelos incluem somente algumas interações possíveis e representam o relacionamento de forma aproximada (MOORE; WEATHERFORD, 2005). O uso de modelos de simulação apresenta uma série de benefícios, tais como maior facilidade de manipulação do modelo (mudanças nas variáveis de decisão ou no ambiente) que em um sistema real, pois a experimentação é mais fácil e não interfere na operação diária da organização. Além disso, permitem a compreensão do tempo, já que anos de operação podem ser simulados em minutos ou segundos de tempo computacional. O custo de uma análise da modelagem é muito mais baixo que o custo de um experimento similar conduzido em um sistema real. De forma análoga, o custo de erros de decisão cometidos durante a modelagem durante um experimento de tentativa e erro é muito mais baixo que quando os modelos são usados em tempo real (HOLSAPPLE; WHINSTON, 1996; TURBAN; SHARDA; DELEN, 2005).

A resolução de um modelo de decisão deve obedecer a um conjunto de regras determinadas pelo(s) método(s) de decisão multicritério (e/ou de outras técnicas de diversas naturezas) escolhido(s) para abordar o problema. A subseção a seguir discute questões relacionadas às peculiaridades desses métodos.

3.2 MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Os métodos de decisão que consideram a participação de um ou mais tomadores de decisão e o uso de mais de um critério são definidos como métodos de decisão multicritério (ou métodos MCDM – *Multicriteria Decision Making*). Wang (2010) afirma que os métodos MCDM são um importante conjunto de ferramentas para abordar difíceis decisões em organizações porque auxiliam os gestores em situações de incerteza, complexidade e

objetivos conflitantes. De Boer, Weger e Telgen (1998) complementam que esses métodos são capazes de contribuir para a eficiência da tomada de decisão por justificar os processos de decisão e por permitirem o processamento mais rápido e automatizado dos dados.

Segundo De Boer, Weger e Telgen (1998), os métodos MCDM para seleção de fornecedores se diferem a partir da abordagem dos seguintes aspectos: a inter-relação das decisões, o número de critérios e sua natureza, os vários tipos de incerteza, o número de tomadores de decisão e, por fim, o tipo de regra de decisão a ser usada.

As regras de decisão determinam o tipo de relacionamento entre os critérios, podendo ser classificadas como compensatórias ou não compensatórias. De acordo com as necessidades do problema, é conveniente que o modelo de decisão considere que o alto desempenho relativo a um critério possa compensar ao menos parcialmente o baixo desempenho relativo a outro critério (KAHRAMAN; 2008). Métodos de decisão que realizam essa compensação entre os critérios são denominados métodos compensatórios, enquanto os métodos que não o fazem são obviamente denominados métodos não-compensatórios.

A literatura acadêmica identifica diversos métodos que podem ser utilizados para apoio à tomada de decisão multicritério. Dentre esses, destacam-se o AHP (*Analytic Hierarchy Process*) (SAATY, 1980), ANP (*Analytic Network Process*) (SAATY, 1999), métodos diversos de programação matemática (Programação Linear, Programação Multiobjetivo, entre outros) (DANTZIG, 1963), *Data Envelopment Analysis* (DEA) (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978), além de técnicas de Inteligência Artificial, como abordagens baseadas na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (ZADEH, 1965), Redes Neurais Artificiais (RNA), Algoritmo Genético (HOLLAND, 1992) e várias outras que são resultado da combinação de técnicas.

Vincke (1992) subdivide os métodos MCDM entre métodos da escola norte-americana e métodos da escola européia. Os métodos da escola européia são baseados em dominância, o que segundo Foerster (1979) envolve a busca por “ótimos de Pareto”, ou seja, um grupo de alternativas que são melhores (ou no mínimo iguais) que todas as demais alternativas em todos os critérios deve ser escolhido. Os métodos da escola americana são baseados na função utilidade, a qual provém da teoria do consumidor e expressa o grau de satisfação do tomador de decisão mediante a escolha de cada alternativa.

Outros autores classificam os métodos MCDM como métodos multiatributo (*Multiple Attribute Decision Making* - MADM) e métodos multiobjetivo (*Multiple Objective Decision Making* - MODM) (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOT, 2005; KAHRAMAN; 2008).

Métodos multiatributos são voltados para 3 tipos diferentes de problemas: problema de classificação (ou categorização), problema de seleção (ou escolha) e problema de ordenação. Um problema de classificação consiste em alocar as alternativas a categorias predefinidas. Em problemas de escolha, deve-se apontar um subconjunto de alternativas que seja menor que o conjunto inicial e que melhor satisfaça os objetivos da decisão. Já um problema de ordenação consiste em estabelecer uma ordem de preferências dentre um dado conjunto de alternativas. Desta forma, verifica-se que os métodos multiatributo modelam problemas com alternativas pré-determinadas, que são descritas por meio de seus múltiplos atributos relacionados (BOUYSSOU et al., 2002; FIGUEIRA; GRECO; EHRGOT, 2005; ROY, 1996).

Já os métodos MODM não consideram alternativas predeterminadas, fazendo necessária a delimitação de um espaço contínuo de soluções possíveis. Os pontos nesse espaço de soluções são avaliados como se fossem alternativas, que devem satisfazer às restrições do problema que interagem entre si (geralmente representadas por equações ou inequações). Durante a resolução do problema, pontos específicos do espaço de alternativas são avaliados em relação ao quanto estes satisfazem os múltiplos objetivos determinados. Geralmente os modelos que utilizam essa abordagem utilizam funções uma ou mais funções-objetivo para medir o grau de satisfação desses requisitos (FIGUEIRA; GRECO; EHRGOT, 2005; KAHRAMAN; 2008).

Embora a abordagem MADM propicie soluções mais factíveis e passíveis de implementação, há situações em que é necessário modelar o problema de seleção de fornecedores por meio da abordagem MODM. A abordagem MODM geralmente é usada na fase de escolha final do processo de seleção de fornecedores, por permitir a alocação de diferentes volumes de aquisição para cada fornecedor. Contudo, este é um processo complexo e em muitos casos é impossível implementar a solução na prática (BHUTTA; HUQ, 2002).

Uma visão geral sobre a evolução do uso de métodos de decisão para seleção de fornecedores é apresentada na Figura 8, destacando alguns marcos em uma escala temporal. Esses marcos incluem a proposição de alguns métodos MCDM, técnicas de gestão e de IA, assim como a proposição de modelos de decisão pioneiros na utilização de determinados métodos e técnicas. A Figura 7 aponta também alguns eventos que contribuíram e influenciaram na evolução dos conceitos e técnicas de seleção de fornecedores.

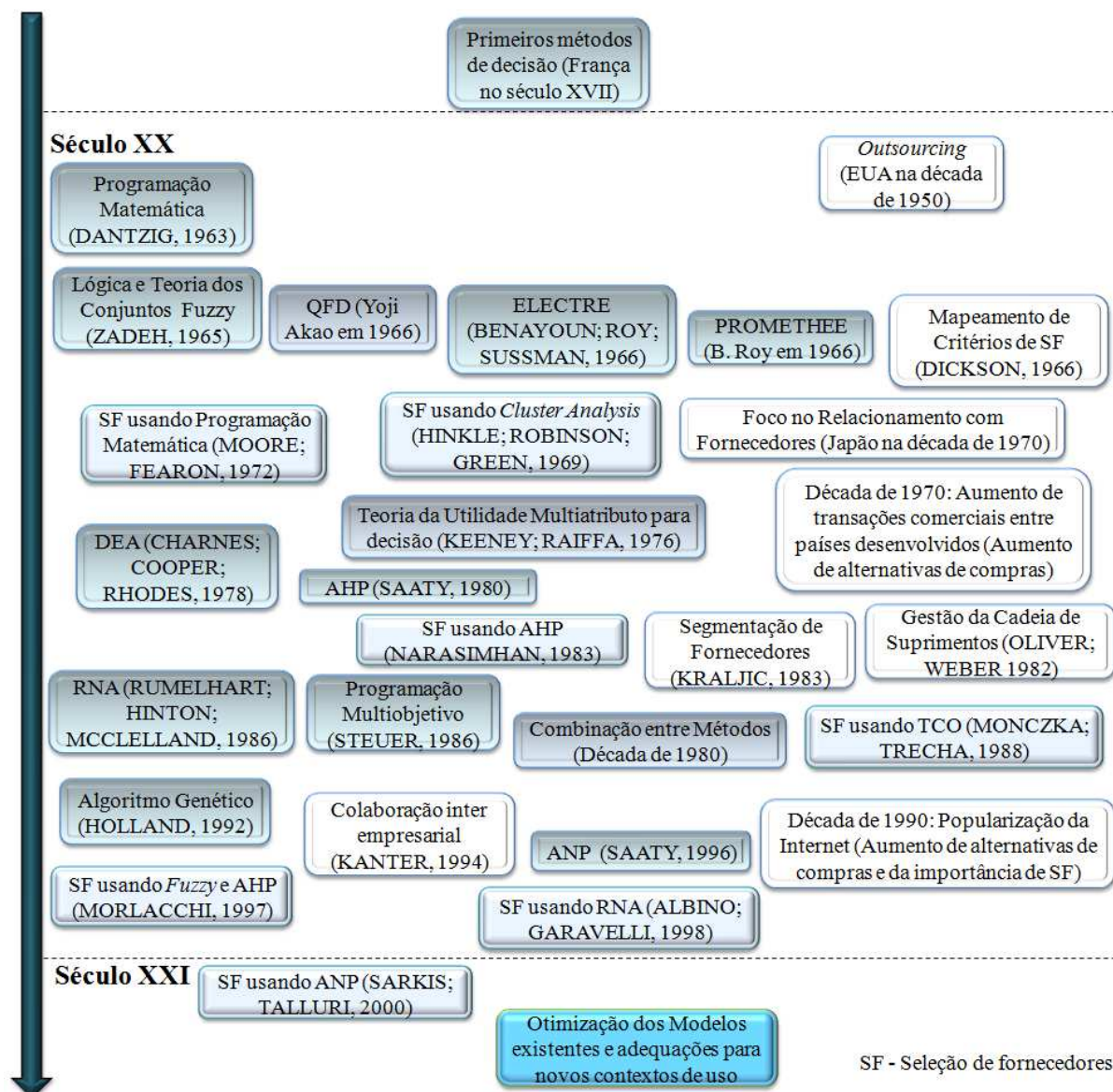


Figura 5 Alguns marcos do uso de métodos de decisão para seleção de fornecedores. Fonte: Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2013).

Diante da existência de tantas técnicas, a subseção 3.4, a seguir, apresenta uma revisão sistematizada da literatura que visa contribuir na direção de atualizar o mapeamento do uso de métodos de apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores.

3.3 MÉTODOS MULTICRITÉRIO PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES: UM PANORAMA DO ESTADO DA ARTE

Em buscas às bases de dados, foram localizados cinco artigos de revisão da literatura sobre a utilização de métodos MCDM no processo de seleção de fornecedores (WEBER; CURRENT; BENTON, 1991; DEGRAEVE, LABRO, ROODHOFT, 2000; DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001; AISSAOUI; HAOUARI; HASSINI, 2007; HO; XU; DEY,

2010), sendo o trabalho mais recente datado de 2010, no qual os autores analisaram trabalhos publicados entre 2000 e 2008. No entanto, há grande emergência de estudos sobre este assunto mediante o foco que a gestão da cadeia de suprimentos e as relações interempresariais têm recebido de pesquisadores da área de gestão de operações (PIDDUCK, 2006; AMBROSE et al., 2008).

Segundo Kitchenham e Charters (2007), ao menos que uma revisão da literatura seja completa e justa, é de pouco valor científico, o que justifica também a necessidade de realizar revisões da literatura de forma sistematizada. Diante do exposto, esta subseção tem o objetivo de traçar um panorama da literatura acadêmica que contemple o desenvolvimento e / ou aplicação de métodos de decisão multicritério para o processo de seleção de fornecedores por meio de um levantamento bibliográfico sistematizado.

3.3.1 Procedimento de Pesquisa Bibliográfica

O método de pesquisa utilizado foi desenvolvido a partir de procedimentos recomendados para elaboração de revisões sistemáticas. Kitchenham e Charters (2007) definem “revisão sistemática da literatura” como um meio de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis relevantes para uma questão de pesquisa específica, ou área temática, ou fenômeno de interesse. Sampaio e Mancini (2007) acrescentam que a elaboração de uma revisão sistemática deve identificar as bases de dados a serem consultadas, definir palavras-chave e estratégias de busca, estabelecer critérios para a seleção de artigos, definir a seleção inicial de artigos, aplicar os critérios na seleção destes e justificar possíveis exclusões. Além disso, deve-se analisar criticamente e avaliar todos os estudos incluídos na revisão, preparar um resumo crítico, sintetizando as informações disponibilizadas pelos artigos que foram incluídos na revisão e apresentar uma conclusão.

Neste sentido, a pesquisa bibliográfica realizada obedeceu a tais recomendações. Os artigos selecionados foram coletados nas bases de periódicos *Science Direct* (www.sciencedirect.com), *Web of Science* (apps.webofknowledge.com), *Scopus* (www.scopus.com) e *Emerald* (www.emeraldinsight.com) de forma sistematizada. Para coletar artigos nos portais de periódicos, foram definidos os seguintes procedimentos de busca e seleção: (1) Inserção da palavra-chave “*supplier selection and evaluation problem*” nos respectivos campos de busca em cada uma das bases de periódicos; (2) Utilização de filtros para selecionar somente artigos publicados entre 2002 e 2011 e que foram publicados em periódicos científicos (*Journals*); (3) Ordenação dos resultados por “relevância” a partir de

uma funcionalidade contida em cada uma das bases de periódicos; (4) Seleção dos 100 primeiros resultados listados; (5) Eliminação de artigos que não contemplavam o desenvolvimento e/ou aplicação de modelos de decisão para o problema de seleção de fornecedores e; (6) Eliminação de cópias dos artigos repetidos, ou seja, aqueles que foram listados e selecionados em mais de uma base de periódicos. O Quadro 2 apresenta a quantidade de artigos resultante após a execução de cada um dos procedimentos de coleta descritos.

Quadro 2 Quantidade de artigos resultante de cada um dos procedimentos de coleta

Base de periódicos	Etapas de busca e seleção					
	1	2	3	4	5	6
<i>Science Direct</i>	18.693	8.878	8.878	100	85	85
<i>Emerald</i>	2869	1581	1581	100	22	18
<i>Web of Science</i>	102	46	46	40	25	13
<i>Scopus</i>	208	193	193	25	19	4
Total de artigos selecionados	-	-	-	-	147	120

Fonte: O Autor.

Alguns imprevistos ocorreram durante a realização da busca e seleção de artigos. Durante a busca no *Emerald*, a palavra-chave foi substituída por “*supplier selection*”, já que todos os artigos coletados foram eliminados durante o procedimento 5 por estarem fora do escopo desta pesquisa. No caso da busca no *Scopus*, como este não apresenta a funcionalidade de buscar somente artigos de periódicos, dentre os 193 resultados listados somente 25 artigos foram coletados, já que os demais consistiam em trabalhos publicados em anais de eventos ou somente resumos de artigos de periódicos.

Quanto aos artigos eliminados, estes abordavam assuntos como ferramenta de *benchmarking* para seleção de fornecedores, critérios para seleção de fornecedores, revisão bibliográfica sobre métodos de decisão, gestão da cadeia de suprimentos, gestão de serviços, comparação entre métodos MCDM e artigos de cunho didático sobre métodos existentes que podem ser usados seleção de fornecedores.

Portanto, foram analisados 120 artigos, dos quais foram extraídas informações como método(s) utilizado(s) no desenvolvimento do modelo, setor econômico da empresa em que foi aplicado, periódico e país de origem, critérios utilizados, dentre outras informações pertinentes. Os dados foram organizados em uma planilha eletrônica e os resultados são apresentados e discutidos na Seção 3.4.2.

3.3.2 Apresentação e Discussão dos Resultados

Esta subseção está focada na caracterização de pesquisas selecionadas, não sendo objetivo realizar revisão bibliográfica sobre especificidades dos métodos identificados, mediante a grande quantidade desses.

Embora o total de estudos analisados (referenciados também como “trabalhos”, “pesquisas” ou “artigos”) nesta pesquisa seja de 120, o somatório das quantidades de determinadas ocorrências de eventos na amostra utilizada (dispostas em gráficos) pode ultrapassar este número. Isso se deve ao fato de que, por exemplo, um estudo pode ser originário de mais de um país, assim como pode abordar a utilização de mais de um método.

A Figura 6 apresenta a quantidade de estudos selecionados segundo o ano de publicação.

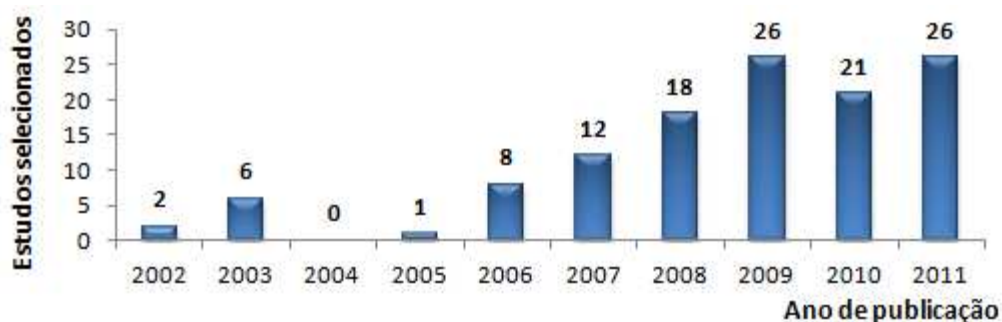


Figura 6 Quantidade de estudos por ano de publicação

Conforme citado anteriormente, esta pesquisa contempla artigos publicados entre 2002 e 2011. No entanto, de acordo com Figura 8, a maioria dos trabalhos selecionados para compor este estudo se concentra em estudos publicados recentemente. Dentre os 120 artigos selecionados, 73 (60,8%) foram publicados de 2009 até 2011, ou seja, estes não foram considerados nas pesquisas existentes de revisão da literatura. Acredita-se que a predominância de artigos mais recentes, também considerados mais “relevantes” pelos portais de periódicos, fortaleça o esforço desta subseção em caracterizar as tendências de pesquisas no se refere à identificação de métodos mais recentemente utilizados e tipos de aplicação.

Quanto à procedência das pesquisas, a Figura 7 apresenta a quantidade de estudos selecionados segundo o país de origem.

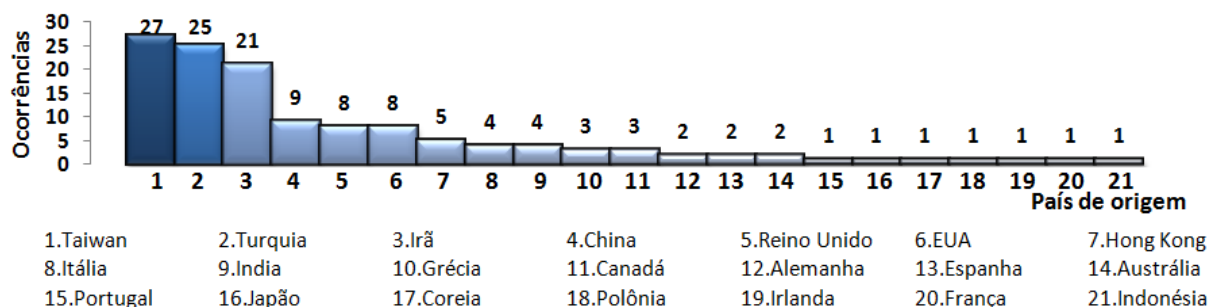


Figura 7 Quantidade de estudos por país de origem

De acordo com os artigos levantados nesta pesquisa, nota-se a predominância de estudos oriundos de Taiwan (22,5%), Turquia (20,83%), Irã (17,5%) e China (7,5%), sendo que somente estes quatro países são responsáveis pelo desenvolvimento de 68,33% das pesquisas. Uma constatação interessante é que nenhum estudo de origem brasileira foi encontrado nessa amostra, o que parece mostrar que este assunto tem sido pouco discutido no Brasil ou que os estudos produzidos não vêm atingindo certo nível de relevância para a comunidade científica.

Quanto à identificação de periódicos que contemplem este tema de pesquisa, a Figura 8 mostra a quantidade de estudos selecionados segundo o periódico de origem.

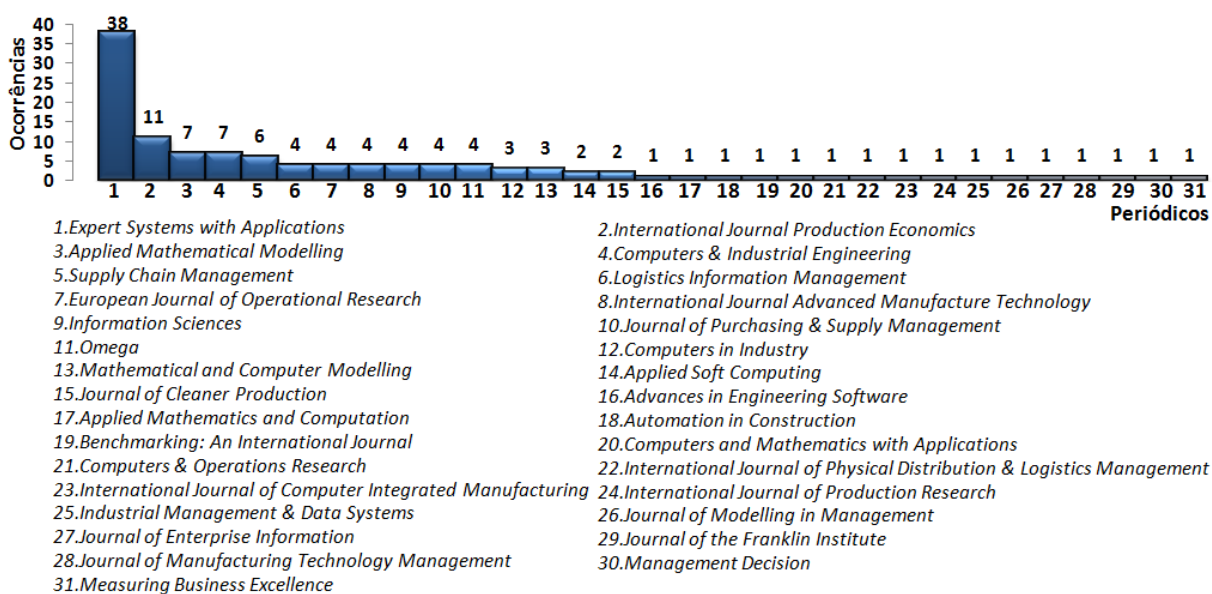


Figura 8 Quantidade de estudos por periódico de origem

A Figura 8 identifica os periódicos (*Journals*) nos quais os artigos foram publicados ou, para alguns casos, aceitos para publicação e, no momento em que foram coletados, encontravam-se em estado de espera para impressão. O periódico *Expert Systems with Applications* apresenta maior quantidade de estudos publicados sobre o tema de pesquisa (31,66%), seguido do *International Journal Production Economics*, com 9,16% do total de pesquisas selecionadas. Embora exista vasta diversidade de periódicos que contemplem estudos sobre o tema, nota-se que predominantemente os dois periódicos mencionados parecem estar mais direcionados a abordar este tipo de estudo que os demais. Estas informações podem ser úteis aos pesquisadores deste tema que, ao selecionarem para qual periódico submeter seus respectivos artigos, terão a oportunidade de obter o crivo de avaliadores especializados no tema, o que tende a agregar valor ao estudo por meio de contribuições mais precisas e consistentes.

Quanto aos resultados referentes ao uso de cada um dos métodos aplicados à seleção de fornecedores, algumas técnicas apresentadas não são necessariamente métodos MCDM e por isso estes são combinados com outros métodos e/ou com técnicas de diversos tipos para definição dos critérios, modelagem do problema de decisão e/ou classificação das alternativas. Essa ressalva é válida para Redes Neurais Artificiais (RNA), Algoritmo Genético, abordagens *Fuzzy*, Mineração de Dados, Raciocínio Baseado em Casos, QFD, SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats*), entre vários outros. Apesar disso, todas as técnicas serão referenciadas como métodos MCDM pela finalidade que lhes é atribuída nos modelos analisados e por questões de simplificação. A Figura 9 apresenta a quantidade de ocorrências de cada um dos métodos MCDM simples, ou seja, métodos que não são mesclados com outro método.

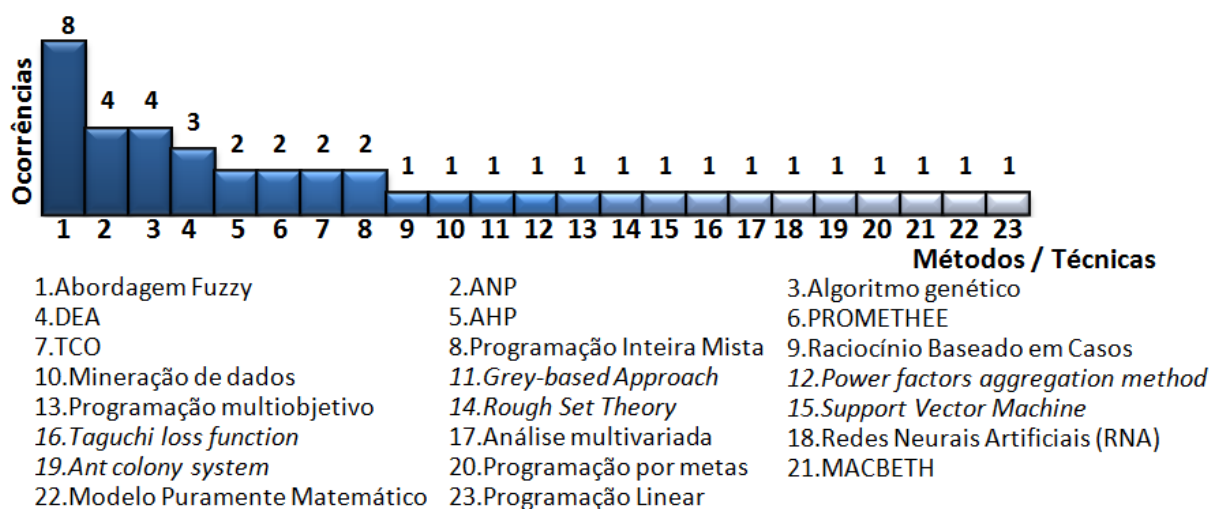


Figura 9 Quantidade de ocorrências de uso de métodos MCDM isoladamente

As abordagens baseadas na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* compõem o método MCDM mais utilizado de forma isolada, totalizando 8 ocorrências dentre os estudos selecionados (CHEN; LIN; HUANG, 2006; ORDOOBADI, 2008; SHEN; YU, 2009; SHU; WU, 2009; ZHANG, 2009; HSU; CHIANG; SHU, 2010; LAM; TAO; LAM 2010; WANG, 2010).

Em segundo lugar, com 4 ocorrências cada, encontram-se os métodos ANP (GENCER; GÜRPINAR, 2007; KIRYTOPOULOS; LEOPOULOS; VOULGARIDOU, 2008; HSU; HU, 2009; LEE; CHANG; LIN, 2009) e Algoritmo Genético (LIAO; RITTSCHER, 2007; CHE; WANG, 2008; REZAEI; DAVOODI, 2008; DAS; ROY; KAR, 2010). Com 3 ocorrências, o método DEA (SAEN, 2007a; SAEN, 2010; WU, 2010). Posteriormente, com 2 ocorrências cada, situa-se o AHP (HOU; SU, 2006; SAEN, 2007b), TCO (MICHELI, 2008; VANTEDDU; CHINNAM; GUSHIKIN, 2011), Programação Inteira Mista (SAWIK, 2011; ZHANG; ZHANG, 2011) e *Preference Ranking Organisation Method For Enrichment*

Evaluations (PROMETHEE) (DUMMING; MINNINO, 2003; ARAZ; OZKARAHAN, 2007).

Por ultimo, com uma ocorrência cada, encontram-se os métodos Programação Multiobjetivo (XIA; WU, 2007), *Taguchi loss function* (ORDOOBADI, 2009), *Support Vector Machine* (GUO; YUAN; TIAN, 2009), *Rough Set Theory* (CHANG; HUNG, 2010), *Power Factors Aggregation Method* (ZOLGHADRI, 2011), *Grey-based Approach* (LI; YAMAGUCHI; NAGAI, 2007), *Data Mining* (LIN et al., 2009), Raciocínio Baseado em Casos (CHOY; LEE, 2002), Análise Multivariada (LASCH; JANKER, 2005), Programação por metas (*Goal Programming*) (CHAN et al., 2010), Programação linear (DAHEL, 2003), MACBETH (OLIVEIRA; LOURENÇO, 2002), um modelo puramente matemático que utiliza abordagem multiatributo (BARLA, 2003) e os métodos desenvolvidos a partir das técnicas bio-inspiradas RNA (LUO, 2009) e *Ant Colony System* (TSAI; YANG; LIN, 2010).

Além dos métodos simples apresentados, foram identificados modelos desenvolvidos a partir da combinação de dois ou mais métodos. O Quadro 3 lista os estudos que contemplam tais abordagens e os respectivos métodos utilizados.

Quadro 3 Listagem de métodos combinados

Métodos combinados	Proposto por	Quantidade
<i>Fuzzy</i> / AHP	Kahraman, Cebeci e Ulukan (2003); Chan e Kumar (2007); Yang et al. (2008); Lee (2009); Chamodrakas, Batis e Martakos (2010); Amid, Ghodsypour e Brien (2011); Kilincei e Onal (2011); Punniyamoorthy, Mathiyalagan e Parthiban (2011)	8
<i>Fuzzy</i> / ANP	Lin (2009); Önut, Kara e Isik (2009); Büyükközkcan e Çifçi (2011); Vinodh, Ramiya e Gautham (2011)	4
Programação Linear / <i>Fuzzy</i>	Güneri, Yücel e Ayyıldız (2009); Yücel e Güneri (2011); Haleh e Hamidi (2011)	3
<i>Fuzzy</i> / QFD	Bevilacqua, Ciarpica e Giacchetta (2006); Amin e Razmi (2009)	2
<i>Fuzzy</i> / RNA	Kuo, Hong e Huang (2010); Aksoy e Öztürk (2011)	2
<i>Fuzzy</i> / TOPSIS	Wang, Cheng e Huang (2009); Boran et al. (2009)	2
<i>Fuzzy</i> / VIKOR	Sanayei, Mousavi e Yazdankhah (2010); Shemshadi et al. (2011)	2
<i>Fuzzy</i> AHP / Programação por Metas	Çebi e Bayraktar (2003); Perçin (2006)	2
<i>Fuzzy</i> / Programação Linear Multiobjetivo	Amid, Ghodsypour e Brien (2006)	1
<i>Fuzzy</i> / <i>Added-value perspective</i>	Florez-Lopez (2007)	1
<i>Fuzzy</i> / <i>Cluster analysis</i>	Bottani e Rizzi (2008)	1

<i>Fuzzy / Specific Measurable Achievable Realistic and Time-Bound (SMART)</i>	Chou e Chang (2008)	1
<i>Fuzzy / TOPSIS / Programação Estocástica</i>	Kara (2011)	1
<i>Fuzzy / AHP/ Programação por metas / TOPSIS</i>	Jolai et. al. (2011);	1
<i>Fuzzy / Adaptive Resonance Theory</i>	Keskin, Ilhan e Ozkan (2010)	1
<i>Fuzzy / SWOT / Programação linear</i>	Amin, Razmi e Zhang (2011)	1
<i>Fuzzy / DEMATEL</i>	Chang, Chang e Wu (2011)	1
<i>Fuzzy / Multi-objective goal programming / TOPSIS</i>	Liao e Kao (2011)	1
<i>Fuzzy / Programação Multiobjetivo</i>	Ozkok e Tiryaki (2011)	1
<i>Fuzzy / Custeio ABC</i>	Dogan e Sahin (2003)	1
<i>Fuzzy / PROMETHEE</i>	Araz, Ozfirat e Ozkarahan (2007)	1
<i>Fuzzy / AHP / Programação Linear</i>	Sevкли et al. (2008)	1
<i>Fuzzy / TOPSIS/ Programação linear</i>	Razmi, Songhori e Khakbaz (2009)	1
<i>Fuzzy / ELECTRE</i>	Vadahni et al. (2010)	1
<i>AHP / Programação Linear</i>	Ng (2008)	1
<i>AHP / Cluster analysis / DEA / RNA</i>	Ha e Krishnan (2008)	1
<i>AHP / QFD</i>	Bhattacharya, Geraghty e Young (2010)	1
<i>AHP / Fuzzy / Programação Linear Multiobjetivo</i>	Wang e Yang (2009)	1
<i>AHP / Algoritmo Genético / Scatter Search Algorithm</i>	Ebrahim, Razmi e Haleh (2009)	1
<i>AHP / Multi-objective Possibilistic Linear Programming / Fuzzy</i>	Özgen et al. (2008)	1
<i>AHP / Programação Inteira Não-linear</i>	Kokangul e Susuz (2009)	1
<i>AHP / Programação dinâmica</i>	Mafakheri, Breton e Ghoniem (2011)	1
<i>AHP / Programação por Metas / Fuzzy</i>	Lee, Kang e Chang (2009)	1
<i>AHP / Taguchi Loss Function / Multi-choice Goal Programming</i>	Liao e Kao (2010)	1
<i>AHP / Grey Relational Analysis (GRA)</i>	Yang e Chen (2006)	1
<i>AHP / Programação Linear Multiobjetivo</i>	Ting e Cho (2008)	1
<i>ANP / Multi-objective Mixed Integer Linear Programming</i>	Ustun e Dermitas (2008a)	1
<i>ANP / Achimedean Goal Programming</i>	Ustun e Dermitas (2008b)	1
<i>ANP / Programação Inteira Mista</i>	Wu (2009a)	1
<i>ANP / Fuzzy / Programação Não-linear</i>	Razmi, Rafiei e Hashemi (2009)	1
<i>ANP / Programação Linear</i>	Lin, Chen e Ting (2011)	1
<i>ANP / Programação Linear Inteira</i>	Demirtas e Ustun (2008)	1
<i>ANP / TOPSIS / Nominal Group Technique (NGT)</i>	Shyur e Shih (2006)	1
<i>ANP / Archimedean Goal Programming (AGP)</i>	Dermitas e Ustun (2009)	1
<i>ANP / Programação Multiobjetivo</i>	Kirytopoulos et al. (2010)	1
<i>ANP / Mixed-integer Non linear Programming</i>	Razmi e Rafiei (2010)	1
<i>DEA / RNA</i>	Çelebi e Bayraktar (2008)	1
<i>DEA / RNA / Multi-attribute Decision Analysis / Linear Programming</i>	Kuo, Wang e Tien (2010)	1
<i>DEA / SWOT / Fuzzy / TOPSIS</i>	Chen (2011)	1
<i>DEA / Fuzzy / AHP / TOPSIS</i>	Zeydan, Çolpan e Çobanoglu (2011)	1
<i>DEA / TCO/AHP</i>	Ramanathan (2007)	1
<i>DEA / TCO</i>	Garfamy (2006)	1
<i>DEA / Árvore de decisão (Decision Trees - DT) e Redes Neurais Artificiais</i>	Wu (2009b)	1
<i>DEA / Multi-objective mixed integer programming</i>	Songhori et al. (2011)	1
<i>DEA / Programação Não-linear</i>	Hadi-Vencheh (2010)	1
<i>Multi-attribute Utility Theory / Linear Programming</i>	Sanayei et al. (2008)	1
<i>Linear Programming / Algoritmo POT</i>	Mendonza e Ventura (2010)	1
<i>Programação Estocástica / Chance-Constrained Programming</i>	Li e Zabinsky (2011)	1
<i>Nonlinear Multiobjective Programming</i>	Aguezzol e Ladet (2007)	1
<i>Raciocínio baseado em casos / RNA</i>	Zhao e Yu (2011)	1
<i>Mixed-integer non linear Programming</i>	Kheljani, Ghodsypour e O'brien (2009)	1

A quantidade de estudos selecionados que utilizam métodos de forma isolada é de 42, enquanto abordagens com modelos combinados totalizaram 78 estudos. Dentre os estudos analisados, foram identificadas 61 diferentes combinações entre métodos MCDM, o que evidencia uma ampla gama de possibilidades a serem exploradas por novos estudos que visem otimização por meio da combinação de técnicas. De modo geral, a combinação de métodos é feita com a finalidade de usufruir de algumas vantagens específicas de cada um, o que também pode variar de acordo com o contexto de aplicação, como mencionado anteriormente.

Por fim, a Figura 10 apresenta uma listagem de todos os métodos identificados e as ocorrências de uso dentre os 120 estudos analisados, seja na forma simples ou combinada.

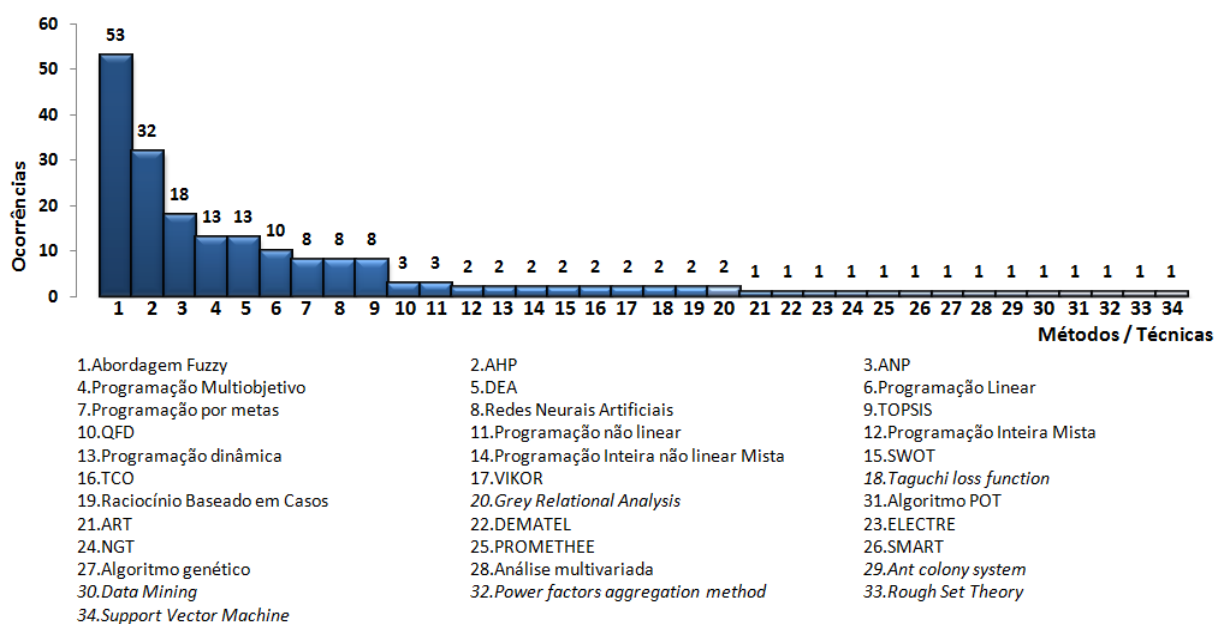


Figura 10 Frequência de uso das técnicas identificadas dentre todos os estudos

Por meio dos resultados exibidos na Figura 10, conclui-se que os métodos que utilizam a abordagem *fuzzy* são os mais utilizados, já que 53 modelos (44,16%) incorporaram algum tipo de recurso da teoria dos conjuntos *fuzzy*. Em seguida, destacam-se os métodos AHP com 32 ocorrências (26,7%), ANP com 18 ocorrências (15,0%), e os métodos DEA e Programação Multiobjetivo com 13 ocorrências cada (10,83%).

A partir das informações apresentadas, nota-se que métodos que são teoricamente mais adequados para lidar com fenômenos de incerteza predominantemente têm recebido maior atenção por parte dos pesquisadores, posto que as abordagens *Fuzzy*, AHP e ANP são os mais adotados. De encontro aos resultados relativos aos métodos MCDM, está a crescente utilização de critérios qualitativos que expressam características desejáveis ao fornecedor em prol do estabelecimento de relações “ganha-ganha” por meio da colaboração de longo prazo. Há grande incidência de critérios relacionados ao potencial do fornecedor em inovar e

desenvolver produtos conjuntamente (por exemplo, “nível de tecnologia”, “poder financeiro”, “construção de relacionamento”, “crescimento conjunto”, dentre outros), bem como outros critérios qualitativos relacionados com a garantia da qualidade (“abordagem gerencial”, “políticas ambientais”, “habilidade de identificar necessidades”, “capacidade de solucionar problemas de qualidade”, dentre outros).

Os critérios citados, bem como diversos outros encontrados nos estudos, somente podem ser utilizados de forma eficaz se forem adotados métodos capazes de tratar variáveis de natureza qualitativa. Desta forma, a ampla utilização da abordagem *fuzzy* parece ser uma tendência que está diretamente associada à crescente adoção de critérios qualitativos emergentes, os quais expressam necessidades empresariais que visam à obtenção de vantagens por meio de uma gestão efetiva na cadeia de suprimentos e de adequações exigidas pelo cenário econômico atual (inovação, colaboração, gestão da qualidade, sustentabilidade ambiental, entre outros).

Quanto ao tipo de aplicação realizada, 70 estudos (58%) utilizam dados fictícios (“exemplos numéricos”) para validar ou exemplificar a utilização dos modelos, enquanto 50 (42%) utilizaram dados reais oriundos de empresas e / ou aplicaram o modelo para apoiar a seleção de fornecedores em um caso real. Quanto aos estudos que realizaram aplicação prática em empresas, a Figura 11 apresenta a listagem de setores de atuação de tais empresas pela quantidade de ocorrências.

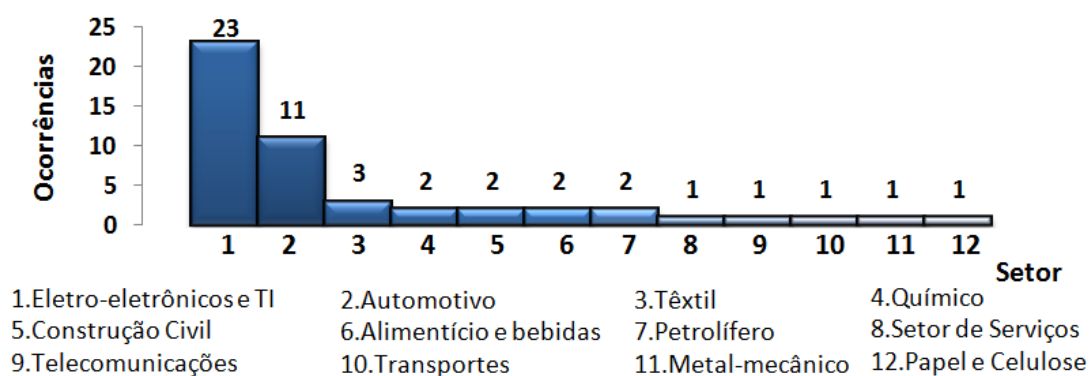


Figura 11 Listagem dos setores de atuação das empresas por quantidade de ocorrências

De acordo com a Figura 11, as aplicações práticas dos métodos desenvolvidos estão fortemente direcionadas para o setor de eletro-eletrônicos e tecnologia da informação. Em seguida, destaca-se o setor automotivo, o qual é historicamente pioneiro no desenvolvimento de boas práticas para a gestão de fornecedores. Com uma frequência bem menor, foram desenvolvidos estudos em empresas do setor têxtil, químico, de construção civil, alimentício e bebidas, petrolífero, de serviços, de telecomunicações, de transporte e metal-mecânico, papel e celulose. Acredita-se que características peculiares às empresas do setor de eletro-

eletrônicos e tecnologia da informação (afinidade com ferramentas computacionais, vasta gama de pequenos itens de matéria-prima e de fornecedores de componentes), além da ascensão deste setor na economia mundial, justifiquem a ampla adoção dos métodos MCDM.

Os resultados mostram a existência de poucos modelos desenvolvidos a partir de situações reais, salvo que a maioria dos estudos utiliza como forma de validação dos modelos a simulação com exemplos puramente numéricos.

Quando são desenvolvidos modelos a partir de problemas reais identificados em empresas, os pesquisadores realizam a coleta de dados diretamente com representantes das mesmas (encarregados de compras, desenvolvimento de produtos, gerentes de produção, entre outros envolvidos), definindo um conjunto de critérios a serem utilizados na avaliação das alternativas de fornecimento, o nível importância de cada um destes critérios e o desempenho das alternativas. Desta forma, tal conjunto de dados pode gerar uma modelagem bastante complexa dependendo da quantidade de critérios listados, da heterogeneidade destes e da consideração de fatores externos (geográficos e econômicos) e de questões estratégicas da cadeia de suprimentos.

Como a maioria dos estudos analisados considerou poucos critérios e ainda de nível operacional, verifica-se que grande parte dos estudos desenvolve modelos de decisão que não são adaptáveis às reais necessidades das empresas.

3.3.3 Considerações Finais

Durante a análise dos 120 artigos selecionados, foram identificados 61 diferentes combinações de métodos MCDM para o desenvolvimento de modelos de decisão para seleção de fornecedores. Visto que foram identificados 34 métodos / técnicas de diferentes naturezas, ainda há muitas possibilidades de combinação para desenvolvimento de modelos voltados a diferentes situações de seleção e avaliação contínua de fornecedores em empresas de diferentes setores da economia que podem ser exploradas por novas pesquisas, dada a baixa ocorrência de trabalhos na maioria dos setores identificados.

Os resultados mostraram que a maioria dos artigos sobre o tema de pesquisa analisado é originária de Taiwan, da Turquia, do Irã e da China e que estudos de origem brasileira sobre este tema não foram localizados durante as buscas detalhadas na subseção 3.5.1. Após esta constatação, outras buscas foram realizadas com a finalidade de investigar a existência de estudos de origem brasileira. Nenhum estudo foi encontrado durante as consultas realizadas no portal de periódicos *Scielo* (www.scielo.org). Contudo, a partir de buscas realizadas em

outras bases de dados, foram localizadas algumas dissertações de mestrado e trabalhos publicados em anais de eventos.

Ribeiro (2008) desenvolveu um modelo que apóia a etapa de escolha final de fornecedores e também a avaliação contínua dos selecionados utilizando os métodos ANP e AHP; Salomon, Marins e Duduch (2007) propuseram um modelo AHP voltado para uma indústria automotiva; Alencar e Almeida (2010) utilizaram ELECTRE IV e *VIP Analysis (Variable Interdependent Parameters)* para apoiar a seleção de fornecedores em projetos em grupo; Salomon e Shimizu (2006) compararam o desempenho dos métodos AHP, ELECTRE I e MACBETH quando aplicados em seleção de fornecedores. Diante desses resultados, nota-se que no Brasil vem sendo desenvolvidos alguns estudos neste tema e que estes adotam métodos MCDM da escola francesa (ELECTRE I e IV) e da escolha americana (AHP, ANP e MACBETH). Porém, não foram identificados estudos que utilizem técnicas de inteligência artificial.

O relato de casos de aplicação de modelos de decisão para seleção de fornecedores, bem como para sua avaliação contínua, ainda é pouco recorrente na literatura. No Brasil, acredita-se que a realização de tais pesquisas costuma ser dificultada pela falta de confiança de algumas empresas que se negam a fornecer informações relacionadas ao problema, pela pouca disponibilidade dos tomadores de decisão para validar os modelos propostos e pelo distanciamento entre as decisões racionais e as práticas reais adotadas para seleção de fornecedores. Contudo, cabe aos pesquisadores o esforço de difundir esses conhecimentos para que os métodos de decisão possam ser incorporados a *softwares* de compra, de gestão integrada, ou mesmo implementados em planilhas simples e de fácil manipulação, contribuindo para que as empresas determinem racionalmente a composição da sua base de fornecedores e, dadas a grande importância e complexidade da decisão, se tornem mais competitivas por meio disso.

Os métodos MCDM mais adequados para lidar com imprecisão e subjetividade vem sendo os mais utilizados, estando os recursos das abordagens *fuzzy* presentes na maioria dos modelos. No entanto, não foram encontrados estudos que comparem as técnicas mais utilizadas sob o contexto de seleção de fornecedores. Mediante a importância de realizar estudos comparativos para definir diretrizes de uso para cada das técnicas, a seção 3.5 discute sobre a realização de estudos comparativos entre métodos MCDM.

Apesar de a amostra possuir um tamanho de 120 artigos, acredita-se que esta seja capaz de representar o estado da arte do tema, dadas a rigidez dos procedimentos utilizados

nas buscas, a utilização de 4 bases de periódicos de bastante relevância e o foco em estudos publicados nos últimos 10 anos.

3.4 ESTUDOS COMPARATIVOS ENTRE MÉTODOS DE DECISÃO

Na literatura acadêmica podem ser encontrados alguns estudos que contemplam comparações entre métodos MCDM. O Quadro 4 apresenta detalhes sobre alguns desses estudos.

Quadro 4 Estudos comparativos entre métodos MCDM

Proposto por	Contexto do problema	Métodos comparados	Procedimentos de Comparação			
			Estudo bibliográfico	Desenvolvimento de modelos	Caso ilustrativo	Software para medir desempenho
Schmidt (1995)	Priorização de critérios	AHP, MACBETH	X	X	X	
Bhutta e Huq (2002)	Seleção de fornecedores	AHP, TCO	X	X	X	
Salomon e Shimizu (2006)	Seleção de Fornecedores	AHP, ELECTRE I e MACBETH	X	X	X	
Mahmoud e Garcia (2000)	Selecionar melhores práticas de gerenciamento	<i>Weight Average, PROMETHEE, Compromise Programming, ELECTRE e AHP</i>	X			X
Salminen, Hokkanen e Lahdelma (1998)	4 problemas diferentes relacionados à gestão ambiental	ELECTRE, PROMETHEE e SMART	X	X	X	
Ertugrul e Karakasoglu (2008)	Seleção de localização de uma indústria	<i>Fuzzy TOPSIS e fuzzy AHP</i>	X	X	X	

Fonte: O autor.

Conforme é mostrado no Quadro 4, há pouca ocorrência de estudos comparativos entre métodos MCDM, dadas as diversas possibilidades de comparação mediante a grande variedade de métodos existentes. Com exceção de Mahmoud e Garcia (2000), todos os demais estudos foram conduzidos a partir da realização de uma pesquisa bibliográfica detalhada seguida pelo desenvolvimento de modelos de decisão e por simulações de uso. Em alguns casos, os métodos comparados apresentaram resultados diferentes para o mesmo problema, como no estudo de Salminen, Hokkanen e Lahdelma (1998) e Mahmoud e Garcia (2000).

Com exceção de Schmidt (1995), as comparações entre os métodos foram realizadas utilizando parâmetros definidos. O Quadro 5 lista os parâmetros utilizados pelos estudos comparativos analisados. Parâmetros como vantagens de uso, desvantagens de uso e

procedimento de comparação de alternativas, são adotados por mais de um estudo comparativo.

Quadro 5 Parâmetros utilizados por estudos comparativos entre métodos MCDM

Parâmetros de comparação
Vantagens de uso
Limitações dos métodos
Desvantagens de uso
Complexidade computacional
Consistência dos resultados
Quantidade de interação requerida ao usuário
Grau de usabilidade do método por profissionais e por não especialistas

Fonte: O autor.

Dentre os estudos comparativos analisados, somente os estudos Bhutta e Huq (2002) e de Salomon e Shimizu (2006) realizaram a comparação dos métodos sob o contexto de seleção de fornecedores. Somente um estudo comparativo envolvendo a abordagem *fuzzy* foi identificado. No estudo de Ertugrul e Karakasoglu (2008), os autores compararam os métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP no contexto de seleção de localização para uma indústria do setor têxtil. Os autores apontaram diferenças na complexidade dos métodos, nos procedimentos de comparação das alternativas, bem como limitações dos métodos e vantagens de uso. Após aplicação de ambos os métodos no mesmo problema, os autores encontraram resultados idênticos.

Conforme ressaltam Ertugrul e Karakasoglu (2008), as peculiaridades do domínio de problema em que o método é aplicado influenciam diretamente no resultado de seu desempenho durante a comparação. Neste sentido, as diferenças entre o problema de seleção de localização e a seleção de fornecedores ajudam a justificar a importância do presente estudo.

Tanto no problema de localização quanto na seleção de fornecedores, as decisões requerem tomada de decisão em grupo, são influenciadas por fenômenos de incerteza e possuem alternativas predeterminadas. Contudo, o número de alternativas a serem avaliadas na seleção de fornecedores costuma ser bem maior que na seleção de localização. Além disso, estes problemas são modelados como problemas de decisão multiatributo diferentes.

Enquanto o problema de localização consiste em um problema de seleção no qual somente uma alternativa é escolhida, na seleção de fornecedores as diferentes etapas do processo se configuram como problemas diferentes. A qualificação de fornecedores consiste em um problema de seleção, no qual se avalia um conjunto maior de fornecedores para

posteriormente reduzi-lo. Já a etapa de escolha final pode ser vista como um problema de ordenação, sendo que uma ou mais alternativas podem ser escolhidas.

Outro contraste entre estes domínios de problema é a frequência de uso dos modelos de decisão. Enquanto na seleção de localização o modelo de decisão é usado raramente, na seleção de fornecedores varia conforme a situação de compra. Por exemplo, os modelos de decisão voltados para uma situação de compra pela primeira vez são utilizados raramente (somente no lançamento de novos produtos), enquanto os modelos voltados para recompra modificada são utilizados rotineiramente para avaliar o desempenho dos fornecedores (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001). Dependendo da frequência de uso do modelo e do nível de interação requerido pelo método MCDM, a coleta de julgamentos dos especialistas pode se tornar um processo bastante exaustivo. Desta forma, principalmente se o nível de interação requerido pelo método MCDM for alto, seu desempenho será diretamente influenciado pela frequência de uso do modelo de decisão.

Desta forma, dadas essas diferenças entre os domínios de problema, considera-se que a realização de um novo estudo comparativo envolvendo os métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP, realizado sob o contexto da tomada de decisão para seleção de fornecedores, gere algumas contribuições relevantes à literatura relacionada.

Diante dos objetivos desta pesquisa, o Capítulo 4 apresenta uma revisão bibliográfica detalhada a respeito dos métodos de decisão multicritério que serão comparados posteriormente.

CAPÍTULO 4

MÉTODOS *FUZZY* TOPSIS E *FUZZY* AHP

Visando prover melhor entendimento sobre as diferentes abordagens combinadas *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP, alguns conceitos fundamentais relacionados à Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* são apresentados inicialmente.

4.1 TEORIA DOS CONJUNTOS *FUZZY*

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (*Fuzzy Set Theory* - FST) foi proposta por Zadeh (1965) e vem sendo usada como ferramenta para formulação de modelos em vários campos da ciência. A necessidade de estabelecimento da FST surgiu da ausência de teorias que utilizassem tratamento matemático tradicional para certas variáveis utilizadas cotidianamente, transmitidas e compreendidas linguisticamente entre interlocutores. Tais variáveis são chamadas variáveis linguísticas, já que os valores que podem ser atribuídos a estas são definidos por palavras ou sentenças em linguagem natural ou artificial. Além disso, os conjuntos cujas fronteiras podem ser consideradas incertas, isto é, definidas por meio de propriedades subjetivas ou atributos imprecisos, também podem ser tratados pela FST (BARROS; BASSANEZI, 2006; KAHARAMAN, 2008).

A principal diferença entre a Teoria Clássica dos Conjuntos e a FST está na forma com que o “pertencimento” ou “grau de inclusão” de um determinado elemento a um conjunto é definido. Segundo a Teoria Clássica dos Conjuntos, os conjuntos clássicos (ou conjuntos *crisp*) são definidos como um grupo de elementos ou objetos finitos e contáveis, nos quais só é possível a cada elemento o pertencimento total ou o não pertencimento a uma determinada classe. Já a FST possui um tratamento flexibilizado que permite a um determinado elemento pertencer parcialmente a uma classe, e pertencer a mais de uma classe simultaneamente.

Na Teoria Clássica dos Conjuntos, uma função característica define o pertencimento (ou pertinência) de determinados elementos a um conjunto. Da mesma forma, em um dado conjunto *fuzzy*, o grau de pertencimento (ou grau de pertinência) de cada elemento é definido por uma função pertinência, cujos valores possíveis variam entre 0 e 1, que representam o pertencimento falso e verdadeiro, respectivamente, conforme mostra a equação 1 (ZADEH, 1965).

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]; x \in X \quad (1)$$

Nesta equação, $\mu_A(x)$ representa o grau de pertinência do elemento x , pertencente ao universo de discurso X , em relação ao conjunto *fuzzy* \tilde{A} . Desta forma, um conjunto *fuzzy* permite aos elementos o pertencimento parcial a uma determinada classe e o pertencimento simultâneo a mais de uma classe.

Cada elemento de um conjunto *fuzzy* é definido por um conjunto de pares ordenados, sendo que o primeiro elemento denota o elemento em si e o segundo o seu grau de pertencimento. A terminologia usada para denotar um conjunto *fuzzy* pode ser especificada de diferentes maneiras. Para um conjunto *fuzzy* \tilde{A} , discreto e finito, este pode ser definido como mostra a equação 2 (ZIMMERMANN, 1991; ALTROCK, 1995):

$$\tilde{A} = \mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \dots + \mu_A(x_n)/x_n = \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)/x_i \quad (2)$$

4.1.1 Números *Fuzzy*

Muitas técnicas voltadas para problemas de tomada de decisão multicritério foram desenvolvidas ou adaptadas com base na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*. Nesse estudo, tais técnicas são referenciadas genericamente como “abordagens *fuzzy*”. Dentre as diversas abordagens *fuzzy* que vem sendo usadas para seleção de fornecedores, as abordagens baseadas em números *fuzzy* são as mais recorrentes na literatura específica.

As abordagens baseadas em números *fuzzy* englobam técnicas que utilizam basicamente números *fuzzy* para representar as preferências dos especialistas e que calculam as pontuações das alternativas utilizando procedimentos muitas vezes semelhantes aos originais de cada método, mas que foram adaptados para executar operações algébricas *fuzzy*. Acredita-se que isso se deve à capacidade de tratar incertezas que é atribuída aos métodos MCDM tradicionais a partir da incorporação de recursos da FST. Nesta categoria, incluem-se modelos *fuzzy* TOPSIS (CHEN; LIN; HUANG 2006; AWASTHI; CHAUHAN; GOYAL; 2010), *fuzzy* AHP (CHAMODRAKAS; BATIS; MARTAKOS, 2010; KILINCCI; ONAL, 2011), *fuzzy* QFD (BEVILACQUA; CIARAPICA; GIACCHETTA, 2006; AMIN; RAZMI, 2009), programação linear *fuzzy* (SEVKLI, M. et al., 2008; GUNERI; YUCEL; AYYILDIZ, 2009), entre outros.

Números *fuzzy* são constituídos por conjuntos *fuzzy*, definidos em universos discretos ou contínuos, que permitem a quantificação da imprecisão associada a uma dada informação.

(ZIMMERMANN, 1991; CELIKYILMAZ; TÜRKSEN, 2009). Todo número *fuzzy* é representado por uma função de pertinência, e deve satisfazer as seguintes condições:

i. Convexidade: Um conjunto *fuzzy* é convexo quando satisfaz a equação 3. Nesta expressão, considera-se que $\lambda \in [0,1]$ e $x_1, x_2 \in X$.

$$\mu(\lambda * x_1 - (1 - \lambda) * x_2) \geq \text{MIN} \{\mu(x_1), \mu(x_2)\} \quad (3)$$

ii. Normalidade: Ao menos um dos elementos deve ter grau de pertinência igual a 1, conforme definido pela equação 4.

$$\mu(x) = 1, \text{ para algum } x \in X \quad (4)$$

A morfologia de um número *fuzzy* é definida por meio do comportamento de $\mu(x)$. Um número *fuzzy* triangular é descrito por sua função de pertinência que constitui segmentos lineares na forma de um triângulo. Usando uma notação mais concisa que a equação 2, um *número fuzzy* triangular \tilde{A} pode ser escrito na forma (l, m, u) , onde m denota um valor formal para o conjunto *fuzzy*, l é o limite inferior e u é o limite superior, como mostra a Figura 12.

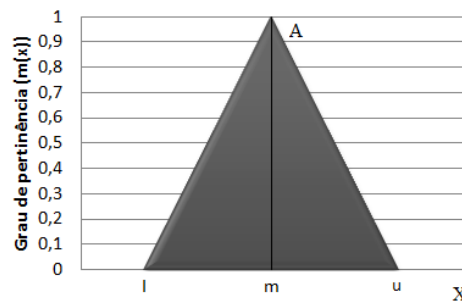


Figura 12 Número *fuzzy* triangular

Em que o grau de pertinência de $\mu_A(x)$ é definido pela equação 5.

$$\left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ se } x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, \text{ se } x \in [l, m] \\ \frac{u-x}{u-m}, \text{ se } x \in [m, u] \\ 0, \text{ se } x \geq u \end{array} \right\} \quad (5)$$

Já as funções trapezoidais são funções lineares caracterizadas por 4 parâmetros $(a, m, n$ e $b)$, como mostra a Figura 13.

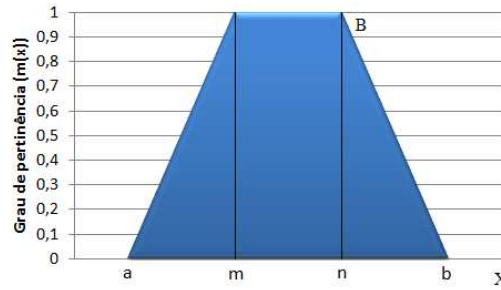


Figura 13 Número *fuzzy* trapezoidal.

Em que o grau de pertinência de $\mu_B(x)$ é definido pela equação 6.

$$\left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ se } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, \text{ se } x \in [a, m] \\ 1, \text{ se } x \in [m, n] \\ \frac{b-x}{b-n}, \text{ se } x \in [n, b] \\ 0, \text{ se } x \geq b \end{array} \right\} \quad (6)$$

As operações básicas com dois números triangulares \tilde{A} e \tilde{B} , definidos em um mesmo universo de discurso X , são feitas usando as seguintes equações: equação 7 para soma, equação 8 para subtração, equação 9 para multiplicação e equação 10 para divisão.

$$\tilde{A} + \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] + [l_B, m_B, u_B] = [l_A + l_B, m_A + m_B, u_A + u_B] \quad (7)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] - [l_B, m_B, u_B] = [l_A - l_B, m_A - m_B, u_A - u_B] \quad (8)$$

$$\tilde{A} * \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] * [l_B, m_B, u_B] = [l_A * l_B, m_A * m_B, u_A * u_B] \quad (9)$$

$$\tilde{A} / \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] / [l_B, m_B, u_B] = [l_A / l_B, m_A / m_B, u_A / u_B] \quad (10)$$

Em modelos de decisão para seleção de fornecedores, números *fuzzy* vem sendo cada vez mais usados por serem capazes de representar matematicamente os valores linguísticos de algumas variáveis, o que será discutido detalhadamente a seguir.

4.1.2 Variáveis Linguísticas

Uma variável linguística é aquela cujos valores são sentenças definidas em linguagem natural ou artificial (ZADEH, 1973), permitindo distinguir qualificações por meio de faixas de gradações. O uso de variáveis linguísticas requer que sejam definidos um conjunto de **termos linguísticos** que permita mensurar seus valores de forma adequada. Esses termos linguísticos são comumente representados por números *fuzzy* triangulares e trapezoidais.

Por exemplo, o valor da variável linguística “comunicação com o fornecedor” pode ser medido por meio dos termos linguísticos “ruim”, “regular”, “bom” e “ótimo”, como ilustra o exemplo da Figura 14. Neste caso, os termos linguísticos são definidos por números *fuzzy* triangulares no universo de discurso $[0, 100]$.

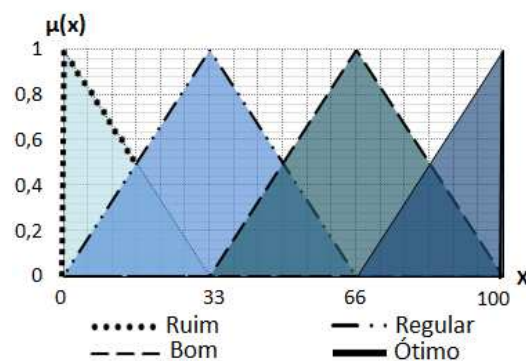


Figura 14 Exemplo de variável linguística *fuzzy*

Variáveis linguísticas *fuzzy* podem ser combinadas com diversos métodos MCDM. De acordo com Zimmerman (1991), o uso de representações linguísticas de observações cognitivas garantem interpretações mais confiáveis e informativas do que fazer representações em formato numérico *crisp*.

Em síntese, o uso de variáveis linguísticas se mostra viável principalmente em avaliações qualitativas e subjetivas, que é o caso da seleção de fornecedores. Para processar julgamentos linguísticos dos especialistas, diferentes abordagens *fuzzy* podem ser utilizadas. Esse é o caso dos métodos combinados *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP, discutidos a seguir.

4.2 FUZZY TOPSIS

O método TOPSIS foi proposto inicialmente por Hwang e Yoon (1981). O princípio básico do TOPSIS consiste em escolher uma alternativa que esteja tão próxima quanto possível da solução ideal positiva e o mais distante quanto possível da solução ideal negativa. A solução ideal é formada tomando-se os melhores valores alcançados pelas alternativas durante a avaliação em relação a cada critério de decisão, enquanto a solução ideal negativa é composta de forma similar, tomando-se os piores valores. Nesta abordagem, o uso de pesos aos atributos é opcional (HWANG; YOON, 1981; KAHRAMAN, 2008).

Na abordagem clássica do método TOPSIS, os valores dos elementos que compõem a matriz de decisão são números *crisp*. Apesar da facilidade de entendimento desse método, sua aplicação de forma isolada em modelos de seleção de fornecedores se mostra inviável por não ser capaz de lidar com decisões sob incerteza. Visando adequar o método TOPSIS para tomada de decisão em cenários de incerteza, Chen (2000) propôs a primeira combinação entre este método e a FST proposta por Zadeh (1965). A abordagem de Chen (2000) trouxe algumas adaptações em relação ao TOPSIS originalmente proposto por Hwang e Yoon (1981), sendo estas:

- i.* As pontuações dos fornecedores e os pesos dos critérios são expressos por valores linguísticos;
- ii.* A matriz de decisão, ao invés de números *crisp*, é composta por números *fuzzy* triangulares, definidos no intervalo $[0,1]$;
- iii.* O algoritmo original do TOPSIS foi mantido, embora os operadores utilizados para os cálculos tenham sido adaptados para lidar com números *fuzzy*;
- iv.* A solução ideal positiva *fuzzy* (FPIS) em relação a cada critério é definida como $\tilde{v}_j^+ = (1,1,1)$. Analogamente, a solução ideal negativa *fuzzy* (FNIS) é definida como $\tilde{v}_j^- = (0,0,0)$. Neste estudo, o método *vertex* é usado para medir a distância entre as soluções *fuzzy* (d_i^+ e d_i^-). O procedimento de medição do *vertex* é bastante parecido com o método de distância euclidiana normalizada, diferindo-se apenas por usar princípios da matemática intervalar para realizar operações com números *fuzzy*.

Outros autores propuseram abordagens combinadas diferentes, combinando o TOPSIS com extensões da FST. No método de Boran et al. (2009), também voltado para seleção de fornecedores, *intuitionistic fuzzy sets* são usados para representar os julgamentos linguísticos dos especialistas. Outro método que combina TOPSIS com uma extensão da FST foi desenvolvido por Büyükköçkan e Ersoy (2009). Neste estudo, a técnica *axiomatic design* é adotada para coletar as informações de entrada do sistema. Nesta abordagem, os requisitos do comprador devem ser definidos por meio de variáveis linguísticas e representados como intervalos *fuzzy*. O desempenho do fornecedor é definido pela interseção entre os intervalos *fuzzy* referentes aos requisitos do comprador e os intervalos correspondentes ao desempenho alcançado pelos fornecedores.

O Quadro 6 apresenta um mapeamento de alguns métodos de decisão *fuzzy* encontrados durante o levantamento bibliográfico. Neste quadro, são destacadas algumas peculiaridades sobre cada um dos modelos, incluindo o formato de representação de valores das variáveis e os operadores (ou procedimentos) usados para realizar os cálculos requeridos pelo método. Diante do foco deste estudo, o Quadro 6 limita-se a contemplar somente estudos desenvolvidos com base na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* proposta por Zadeh (1965).

Analisando o Quadro 6, verifica-se que apesar de existirem diferentes combinações envolvendo TOPSIS e FST, método de Chen (2000) é o mais adotado. Acredita-se que a ampla aceitação desta abordagem se deve principalmente à facilidade de entendimento e de aplicação, já que os procedimentos requeridos para agregar as preferências dos especialistas e calcular o desempenho final dos fornecedores são bastante simples e não requerem alto esforço computacional.

Quadro 6 Métodos *fuzzy* TOPSIS para seleção de fornecedores

Proposto por	Técnicas Envolvidas	Baseado em	Contribuições	Representação das informações			Procedimentos/Operadores usados	
				Inputs		Outputs	Obter vetor de pesos dos critérios	Cálculo das distâncias entre as soluções
				Pontuação das alternativas	Pesos	Pontuação Final		
Chen, Lin e Huang (2006)	<i>Fuzzy</i> / TOPSIS	Chen (2000)	Uso de números <i>fuzzy</i> trapezoidais; Escala para determinar o <i>status</i> do fornecedor (a escala considera o coeficiente de proximidade e usa princípios da classificação de padrões <i>fuzzy</i>)	Número <i>fuzzy</i> triangular; Número <i>fuzzy</i> trapezoidal	Número <i>fuzzy</i> triangular; Número <i>fuzzy</i> trapezoidal	Número <i>crisp</i>	Procedimentos similares ao TOPSIS	Método <i>vertex</i> adaptado para números <i>fuzzy</i> trapezoidais
Bottani e Rizzi (2006)	<i>Fuzzy</i> / TOPSIS	Chen (2000)	Aplicação do <i>fuzzy</i> TOPSIS para seleção de fornecedores de serviços logísticos	Número <i>fuzzy</i> triangular;	Número <i>fuzzy</i> triangular;	Número <i>crisp</i>	Procedimentos similares ao TOPSIS	Método <i>vertex</i>
Shahanaghi e Yazdian (2009)	<i>Fuzzy</i> / TOPSIS	Chen, Lin e Huang (2006)	Uso de critérios e subcritérios	Número <i>fuzzy</i> trapezoidal	Número <i>fuzzy</i> trapezoidal	Número <i>crisp</i>	Procedimentos similares ao TOPSIS	Método <i>vertex</i> adaptado para números <i>fuzzy</i> trapezoidais
Wang, Cheng e Huang (2009)	<i>Fuzzy</i> / TOPSIS / AHP	Chen (2000)	Adaptação do método de distância métrica para ser capaz de lidar com números <i>fuzzy</i> ; Alteração do algoritmo de Chen (2000)	Número <i>fuzzy</i> triangular	Número <i>fuzzy</i> triangular	Número <i>crisp</i>	<i>Fuzzy</i> AHP	Método da distância métrica adaptado;
Awasthi, Chauhan e Goyal (2010)	<i>Fuzzy</i> / TOPSIS	Chen (2000)	Avaliação do desempenho ambiental dos fornecedores; Método para análise de sensibilidade, a partir de experimentos com diferentes pesos nos critérios;	Número <i>fuzzy</i> triangular	Número <i>fuzzy</i> triangular	Número <i>crisp</i>	Procedimentos similares ao TOPSIS	Método <i>vertex</i>
Liao e Kao (2011)	<i>Fuzzy</i> / TOPSIS/ Programação Multi-objetivo	Chen, Lin e Huang (2006)	Consideração de “fatores tangíveis” (restrições de capacidade, prazo de entrega, entre outros);	Número <i>fuzzy</i> trapezoidal	Número <i>fuzzy</i> trapezoidal	Número <i>crisp</i>	Procedimentos similares ao TOPSIS	Método <i>vertex</i> adaptado para números <i>fuzzy</i> trapezoidais

4.3 FUZZY AHP

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) foi desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1970 e atualmente é provavelmente o método de decisão mais utilizado no Brasil. O AHP é conhecido por ser um método compensatório capaz de priorizar alternativas mediante a consideração de múltiplos critérios, voltado principalmente para situações em que estes possuem natureza intuitiva, racional ou qualitativa. Este método foi concebido pela escola americana e resolve problemas complexos por meio de uma abordagem estruturada para determinar as pontuações das alternativas e pesos dos critérios utilizados a partir da comparação par a par, determinada por julgamentos de especialistas. Desta forma, o AHP envolve muitos fatores intangíveis, mas requer ainda um controle racional e lógico por parte dos especialistas (SAATY, 1980; GOMES; MOREIRA, 1998; BHUTTA; HUQ, 2002; SAATY, 2008).

Conforme mostra a Figura 15, no AHP a representação de um problema de decisão é feita em uma estrutura hierárquica com a finalidade de capturar os elementos básicos do problema. Em alguns casos, os critérios de decisão são decompostos em um conjunto de atributos que também devem ser representados na hierarquia de decisão. Na estrutura hierárquica, os elementos são comparados par a par com outros elementos com a finalidade de deduzir julgamentos. A síntese dos julgamentos é obtida como um resultado da recomposição hierárquica (SAATY, 1980; SAATY, 2008).

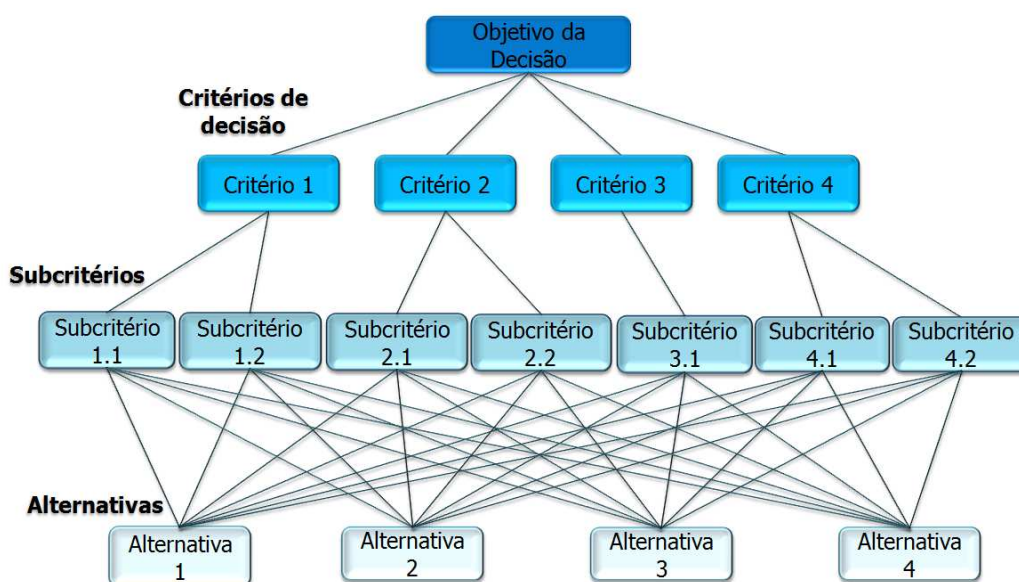


Figura 15 Representação hierárquica de um problema de decisão no AHP

Em aplicações combinadas, o AHP costuma ser utilizado por ser capaz de captar fatores subjetivos decorrentes da experiência e intuição de especialistas, principalmente na determinação

dos pesos dos critérios. A combinação mais recorrente é feita incorporando recursos da abordagem *fuzzy* na estrutura do AHP.

O primeiro método de decisão multicritério que combinou o método AHP com recursos da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* foi proposto por van Laarhoven e Pedrycz (1983). Com base nessa abordagem, outros autores propuseram outras combinações envolvendo recursos da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* e AHP. O Quadro 7 apresenta um mapeamento de alguns métodos de decisão *fuzzy* AHP encontrados durante o levantamento bibliográfico.

Na abordagem *fuzzy* AHP proposta por van Laarhoven e Pedrycz (1983), as preferências dos tomadores de decisão são expressas por meio de números *fuzzy* triangulares. Apesar de ser capaz de apoiar decisões em ambientes em que as informações disponíveis são incompletas, o método possui algumas limitações que tornam sua utilização inviável na seleção de fornecedores. A principal delas é que algumas equações do método são ainda incipientes, pois experimentavam o uso de números *fuzzy* quando as operações algébricas com estes números ainda não haviam sido estabelecidas. Uma evidência disso é que no sistema linear usado para determinar o desempenho das alternativas ocorre uma relação de dupla dependência entre duas equações que determinam os valores de l e de u do número *fuzzy* que corresponde à pontuação final do fornecedor. O fato de os resultados fornecidos serem números *fuzzy* triangulares corresponde a mais uma inadequação deste método para seleção de fornecedores, uma vez que os resultados em formato *fuzzy* são de difícil interpretação por usuários não especialistas. Esta abordagem parece não ter tido boa aceitação, uma vez que não foi adotada em nenhum dos modelos para seleção de fornecedores analisados nesta pesquisa.

O método *fuzzy* AHP proposto por Ruoning e Xiaoyan (1992) incorpora algumas características do método proposto por van Laarhoven e Pedrycz (1983), como capacidade de lidar com decisão em grupo e julgamentos comparativos. Todavia, este método se diferencia por utilizar números *fuzzy* positivos com intervalos fechados para representar os julgamentos dos especialistas. Tais julgamentos são fornecidos na forma de intervalos numéricos (por exemplo, “entre 40 e 60”). Os limites dos intervalos numéricos são combinados para formar números *fuzzy*. Os procedimentos de cálculo do método se mostram consistentes. Contudo, o desempenho final das alternativas também é fornecido em números *fuzzy* com intervalos fechados, o que inviabiliza sua utilização no apoio às decisões para seleção de fornecedores.

Outra combinação entre *fuzzy* e AHP foi proposta por Chang (1996), e é conhecida como *extent analysis method*. Além de ser amplamente usada em diversos tipos de problemas relacionados à gestão de operações, conforme mostra o Quadro 7, este parece ser o método *fuzzy*

AHP mais utilizado para seleção de fornecedores. Killincci e Onal (2011) também afirmam esta constatação.

As principais vantagens de adoção do método de Chang (1996) parecem ser o uso de variáveis linguísticas para representar a opinião dos especialistas e a quantificação do desempenho global das alternativas em formato *crisp*. Além disso, os procedimentos de cálculo do método são mais simples e mais facilmente aplicáveis do que os métodos descritos anteriormente.

Além dos métodos *fuzzy* AHP discutidos, outros métodos anteriores ao de Chang (1996) podem ser encontrados na literatura. Contudo, esses métodos não alcançaram projeção considerável, sendo raramente referenciados em estudos sobre o tema. Acredita-se que isso se deve à baixa usabilidade dos métodos diante dos procedimentos matemáticos propostos e da ausência de recursos comumente requeridos, como o tratamento de variáveis linguísticas.

Portanto, apesar de não contemplar todos as combinações *fuzzy* AHP existentes na literatura acadêmica, considera-se que os modelos identificados nesta subseção possam representar as abordagens *fuzzy* AHP mais referenciadas na literatura acadêmica relacionada.

Quadro 7 Métodos *fuzzy* AHP para seleção de fornecedores

Proposto por	Desenvolvido para	Baseado em	Contribuição	Representação das informações			Procedimentos/Operadores usados na Síntese de Julgamentos	
				<i>Inputs</i>		<i>Outputs</i>	Síntetizar as pontuações dos objetos	Obter pontuação Final
				Pontuação das alternativas	Pesos dos critérios	Pontuação Final		
Van Laarhoven e Pedrycz (1983)	Problemas de decisão genéricos	-	Trata matrizes com julgamentos incompletos; Funções de pertinência para representar as pontuações finais;	Número <i>fuzzy</i> triangular	Número <i>fuzzy</i> triangular	Número <i>fuzzy</i> triangular	Combinação do método dos mínimos quadrados, procedimentos do AHP, operações elementares e logarítmicas com números <i>fuzzy</i>	Procedimentos do AHP, operações elementares e exponenciais com números <i>fuzzy</i>
Ruoning e Xiaoyan (1992)	Problemas de decisão genéricos	Van Laarhoven e Pedrycz (1983)	Atribuir pesos diferentes para preferências dos tomadores de decisão; Método diferente para formar números <i>fuzzy</i> ;	Números <i>fuzzy</i> positivos com intervalos fechados	Números <i>fuzzy</i> positivos com intervalos fechados	Números <i>fuzzy</i> positivos com intervalos fechados	Método proposto que considera medidas de Lebesgue para compor as preferências <i>fuzzy</i> dos especialistas	Combinação de medidas de Lebesgue, procedimentos tradicionais do AHP e operações elementares com números <i>fuzzy</i>
Chang (1996)	Problemas de decisão genéricos	Van Laarhoven e Pedrycz (1983)	Mescla os procedimentos do AHP, recursos da FST e o método de análise de medida para calcular o peso dos critérios e o desempenho final das alternativas	Número <i>fuzzy</i> triangular	Número <i>fuzzy</i> triangular	Valor <i>crisp</i>	Método de análise de medida (<i>Extent analysis method</i>)	Comparação entre as preferências sintéticas das alternativas considerando interseção entre conjuntos <i>fuzzy</i>
Kahraman, Cebeci e Ulukan (2003)	Seleção de fornecedores	Chang (1996)	Aplicação do <i>fuzzy</i> AHP para seleção de fornecedores em uma empresa do setor de eletrodomésticos de linha branca	Número <i>fuzzy</i> triangular	Número <i>fuzzy</i> triangular	Valor <i>crisp</i>	Método de análise de medida (<i>Extent analysis method</i>)	Comparação entre as preferências sintéticas das alternativas considerando interseção entre conjuntos <i>fuzzy</i>
Chan e Kumar (2007)	Seleção de fornecedores	Chang (1996)	Consideração de fatores de risco na seleção de fornecedores	Número <i>fuzzy</i> triangular	Número <i>fuzzy</i> triangular	Valor <i>crisp</i>	Método de análise de medida (<i>Extent analysis method</i>)	Comparação entre as preferências sintéticas das alternativas considerando interseção entre conjuntos <i>fuzzy</i>
Kilincici e Onal (2011)	Seleção de fornecedores	Chang (1996)	Aplicação do <i>fuzzy</i> AHP para seleção de fornecedores em uma empresa do setor de eletrodomésticos de linha branca	Número <i>fuzzy</i> triangular	Número <i>fuzzy</i> triangular	Valor <i>crisp</i>	Método de análise de medida (<i>Extent analysis method</i>)	Comparação entre as preferências sintéticas das alternativas considerando interseção entre conjuntos <i>fuzzy</i>

CAPÍTULO 5

CONSTRUÇÃO DOS MODELOS DE DECISÃO

5.1 ESCOLHA DOS MÉTODOS *FUZZY* AHP E *FUZZY* TOPSIS

Diante da diversidade de métodos *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS, foi necessário escolher um método que fosse mais representativo da literatura existente sobre o tema. Durante a escolha do *fuzzy* TOPSIS, foram selecionados somente métodos desenvolvidos com base nos estudos originais de cada uma das técnicas, ou seja, na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* proposta por Zadeh (1965) e no método TOPSIS proposto por Hwang e Yoon (1981). Outros critérios de seleção foram a frequência de uso do método por outros estudos da literatura relacionada e o potencial para aplicação em um caso prático de seleção de fornecedores. Diante disso, o método combinado de Chen (2000) foi selecionado.

A escolha da abordagem *fuzzy* AHP também considerou inicialmente somente estudos baseados nos estudos originais de cada método, ou seja, na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* proposta por Zadeh (1965) e no método AHP proposto por Saaty (1980). Outros critérios de seleção também foram a frequência de uso do método por outros estudos da literatura relacionada e o potencial para aplicação em um caso prático de seleção de fornecedores. Tanto o método de van Laarhoven e Pedrycz (1983) quanto o de Ruoning e Xiaoyan (1992) se mostraram pouco aplicáveis à seleção de fornecedores devido à baixa usabilidade dos procedimentos usados para composição dos valores *fuzzy* de entrada e ao formato *fuzzy* das pontuações do *ranking*. Diante do exposto, o método de Chang (1996) foi selecionado por se apresentar mais aplicável à seleção de fornecedores e por ser o método mais usado na literatura.

5.2 MÉTODO *FUZZY* TOPSIS PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES

A Figura 16 apresenta o método *fuzzy* TOPSIS para apoio à seleção de fornecedores.

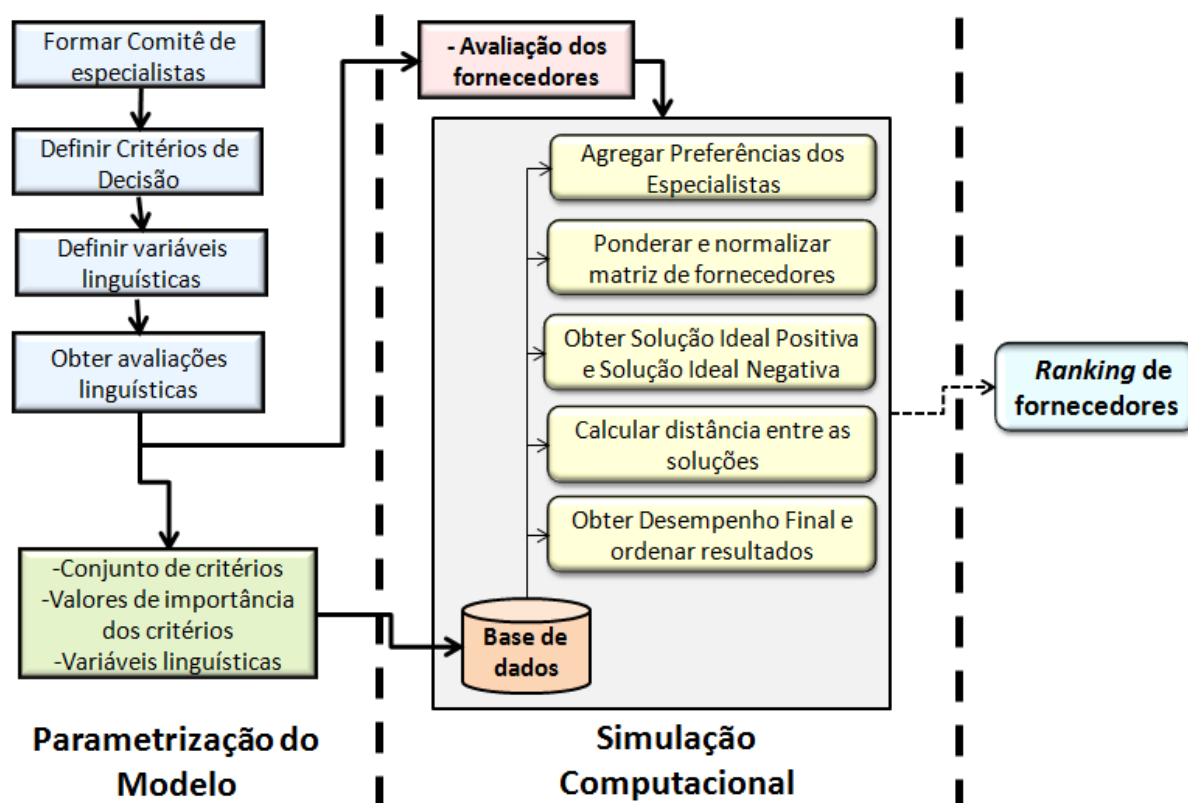


Figura 16 Método *fuzzy* TOPSIS para seleção de fornecedores

Como mostra a Figura 16, o método pressupõe a existência de um desenvolvedor para modelagem computacional e requer a participação de um grupo de tomadores de decisão (ou especialistas). O comitê de especialistas deve ser composto por representantes de áreas afetadas pela decisão de seleção de fornecedores. O papel desses especialistas no processo decisório consiste em:

- i.* Definir um conjunto de critérios de decisão que seja coerente com os requisitos operacionais e estratégicos da organização;
- ii.* Definir duas escalas de termos linguísticos juntamente com o desenvolvedor. Um conjunto de termos é usado para quantificar o desempenho do fornecedor e o outro serve para definir o peso dos critérios. Também devem ser definidos os números *fuzzy* triangulares correspondentes a cada termo linguístico. Os Quadros 8 e 9 listam um conjunto de termos linguísticos sugeridos. Neste quadro, os valores de l , m e u representam números *crisp* pertencentes ao mesmo universo de discurso.

Quadro 8 Conjuntos de termos linguísticos para avaliação da importância dos critérios

Valor linguístico	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Valor fuzzy	(l_{MB}, m_{MB}, u_{MB})	(l_B, m_B, u_B)	(l_M, m_M, u_M)	(l_A, m_A, u_A)	(l_{MA}, m_{MA}, u_{MA})

Quadro 9 Conjuntos de termos linguísticos para avaliação do desempenho dos fornecedores

Valor linguístico	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Valor fuzzy	(l_{MB}, m_{MB}, u_{MB})	(l_B, m_B, u_B)	(l_M, m_M, u_M)	(l_A, m_A, u_A)	(l_{MA}, m_{MA}, u_{MA})

iii. Usando os valores linguísticos do Quadro 8, cada especialista deverá avaliar a importância relativa dos critérios de decisão;

iv. Analogamente, usando os valores linguísticos do Quadro 9, cada especialista deverá avaliar o desempenho dos fornecedores em relação aos critérios adotados.

O desenvolvedor deve parametrizar o modelo utilizando as informações obtidas nos itens *i*, *ii* e *iii*. As informações obtidas no item *iv* são usadas como entrada principal do modelo de simulação computacional. A simulação computacional permite automatizar os seguintes procedimentos de cálculos iterativos propostos pelo método de Chen (2000):

i. Agregar os julgamentos dos k especialistas quanto ao peso de cada critério de decisão j utilizando a equação 11.

$$\tilde{W} = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^r + \dots + \tilde{w}_j^k] \quad (11)$$

ii. Agregar os julgamentos dos k especialistas quanto à avaliação dos fornecedores i em relação a cada critério j de acordo com a equação 12.

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^r + \dots + \tilde{x}_{ij}^k] \quad (12)$$

iii. Obter a matriz ponderada de desempenho dos fornecedores $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$, por meio da equação 13. Posteriormente, deve-se normalizar a matriz de modo a satisfazer a equação 14.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{x}_{ij} * \tilde{w}_j, \quad i=1, 2, \dots, n \text{ e } j=1, 2, \dots, m \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^m \tilde{v}_{ij} = 1 \quad (14)$$

iv. Obter o vetor de solução *fuzzy* ideal positiva (*fuzzy positive ideal solution* - FPIS, A^+) e o vetor de solução *fuzzy* ideal negativa (*fuzzy negative ideal solution* - FNIS, A^-), conforme as equações 15 e 16, respectivamente. Assim como em Chen (2000), adotando o método *vertex*, define-se $\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1)$ e $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$.

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_j^+, \dots, \tilde{v}_m^+\} \quad (15)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_j^-, \dots, \tilde{v}_m^-\} \quad (16)$$

v. Para cada fornecedor avaliado, calcular a distância entre as pontuações dos fornecedores e a FPIS⁺ (d_i^+) utilizando a equação 17. Analogamente, calcular a distância entre as pontuações dos fornecedores e a FNIS⁻ (d_i^-) utilizando a equações 18.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad (17)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (18)$$

Nas equações 17 e 18, $d(\cdot, \cdot)$ representa a distância entre dois números *fuzzy*. Para o caso de números *fuzzy* triangulares, seu valor pode ser obtido por meio da equação 19.

$$d(\tilde{x}, \tilde{z}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(l_x - l_z)^2 + (m_x - m_z)^2 + (u_x - u_z)^2]} \quad (19)$$

i. Para cada fornecedor avaliado, calcular o coeficiente de aproximação (*closeness coefficient* - CC_i) usando a equação 20 e ordenar os resultados em ordem decrescente.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{(d_i^+ + d_i^-)} \quad (20)$$

No *ranking* fornecido por esta abordagem *fuzzy* TOPSIS, o valor do coeficiente de aproximação é definido entre 0 e 1. Quão mais próximo 1.0 for este valor, melhor é o desempenho global do fornecedor. Para ilustrar o funcionamento do modelo desenvolvido, será apresentado um caso ilustrativo a seguir.

5.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO FUZZY TOPSIS

5.3.1 Definição do Problema

A situação de seleção de fornecedores apresentada neste caso ilustrativo se passa em uma empresa de cabos de transmissão, que está inserida cadeias de suprimentos do setor automobilístico. A empresa necessita adquirir componentes metálicos de fornecedores

conhecidos em transações anteriores. Para selecionar o melhor fornecedor dentre os 5 avaliados, todas as alternativas foram avaliadas de acordo com 5 critérios de decisão. As avaliações foram coletadas junto a um engenheiro responsável pelo setor de qualidade da empresa. Os julgamentos deste especialista foram coletados utilizando os questionários apresentados no Apêndice A (pg. 134).

5.3.2 Definição dos Critérios de Decisão e Escalas de Avaliação

Os critérios de decisão adotados para avaliação dos fornecedores são apresentados no Quadro 10. Esses critérios foram extraídos da literatura acadêmica, tendo sido escolhidos por serem os mais utilizados nos modelos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP. Coincidentemente, a empresa participante desta pesquisa já utilizava estes mesmo critérios (e mais alguns) na seleção de seus fornecedores.

Quadro 10 Critérios de decisão utilizados na seleção de fornecedores

Critérios de decisão	Definição
Qualidade (C_1)	Expressa uma medida de desempenho decorrente de uma avaliação ampla da gestão da qualidade na empresa fornecedora, da capacidade de seu processo produtivo, da capacidade de resolução de problemas com não conformidades e da garantia oferecida pelo fornecedor
Custo (C_2)	Diz respeito ao custo de obtenção do item, considerando custos de transporte, custos de processamento de pedidos e custos de armazenagem despendidos a partir da realização de uma compra
Entrega (C_3)	Refere-se ao prazo de entrega, à confiabilidade de cumprimento deste prazo e à conformidade da entrega no ato de recebimento (ex. condições do produto, embalagem, quantidade recebida/ quantidade requerida)
Perfil do fornecedor (C_4)	Avaliam-se aqui as competências técnicas do fornecedor, sua posição de mercado e poder financeiro
Relacionamento com o fornecedor (C_5)	Refere-se ao esforço da empresa fornecedora em estabelecer e manter vínculos estáveis com a empresa compradora e à confiança entre comprador e fornecedor

Para avaliar o nível de importância desses critérios, foi definida uma escala com 5 termos linguísticos, mostrada na Figura 17. Os termos linguísticos foram modelados usando funções de pertinência triangulares. Assim como em Chen (2000), esta escolha se deu devido a melhor adequação deste tipo de função ao problema em questão.

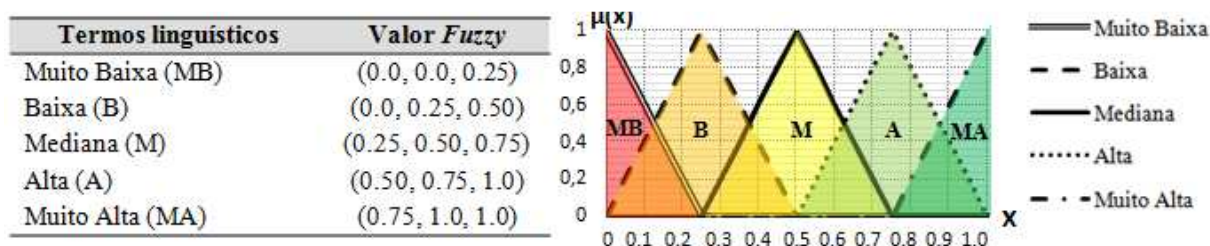


Figura 17 Escala usada para avaliar a importância dos critérios de decisão

Analogamente, para avaliar o desempenho dos fornecedores em relação a cada critério de decisão, foi definida a escala mostrada na Figura 18.

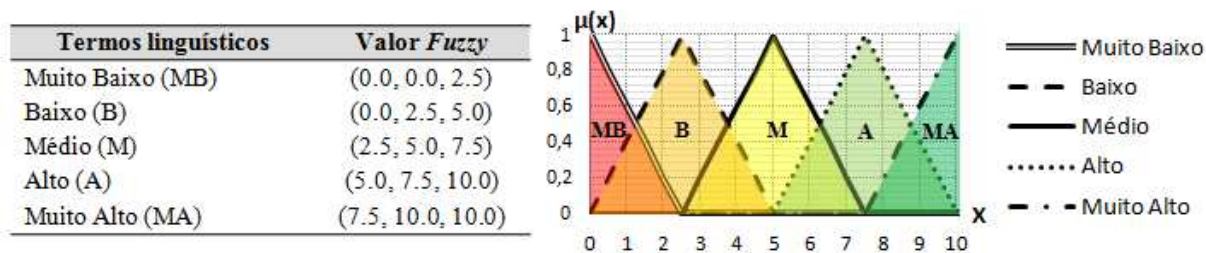


Figura 18 Escala usada para avaliar o desempenho dos fornecedores

5.3.3 Resultados da Simulação

As avaliações fornecidas pelos especialistas quanto ao desempenho de cada um dos fornecedores e ao peso dos critérios de decisão são apresentadas no Quadro 11.

Quadro 11 Julgamentos dos especialistas sobre o desempenho dos fornecedores

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	Peso dos critérios
C ₁	M	A	M	M	A	A
C ₂	A	B	M	B	A	MA
C ₃	A	A	A	A	A	A
C ₄	M	A	M	A	A	M
C ₅	A	A	A	A	M	A

Os valores dos números *fuzzy* triangulares correspondentes aos valores linguísticos fornecidos pelo especialista são mostrados no Quadro 12.

Quadro 12 Números *fuzzy* triangulares correspondentes aos julgamentos do especialista

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	Pesos
C ₁	(2.5, 5.0, 7.5)	(5.0, 7.5, 10.0)	(2.5, 5.0, 7.5)	(2.5, 5.0, 7.5)	(5.0, 7.5, 10.0)	(5.0, 7.5, 10.0)
C ₂	(5.0, 7.5, 10.0)	(0.0, 2.5, 5.0)	(2.5, 5.0, 7.5)	(0.0, 2.5, 5.0)	(5.0, 7.5, 10.0)	(7.5, 10.0, 10.0)
C ₃	(5.0, 7.5, 10.0)	(5.0, 7.5, 10.0)	(5.0, 7.5, 10.0)	(5.0, 7.5, 10.0)	(5.0, 7.5, 10.0)	(5.0, 7.5, 10.0)
C ₄	(2.5, 5.0, 7.5)	(5.0, 7.5, 10.0)	(2.5, 5.0, 7.5)	(5.0, 7.5, 10.0)	(5.0, 7.5, 10.0)	(2.5, 5.0, 7.5)
C ₅	(5.0, 7.5, 10.0)	(5.0, 7.5, 10.0)	(5.0, 7.5, 10.0)	(5.0, 7.5, 10.0)	(2.5, 5.0, 7.5)	(5.0, 7.5, 10.0)

Estas avaliações foram computadas usando o modelo de simulação computacional desenvolvido em MATLAB[®]. Para isso, foram desenvolvidas 4 blocos de funções computacionais, mostradas no Apêndice B (pg. 137).

Por meio da equação 13, a matriz *fuzzy* correspondente ao desempenho dos fornecedores foi ponderada e normalizada usando os valores do vetor *fuzzy* de pesos dos critérios. O resultado desta operação é mostrado no Quadro 13.

Quadro 13 Matriz de desempenho dos fornecedores ponderada e normalizada

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
C ₁	(0.125, 0.375, 0.75)	(0.25, 0.562, 1.0)	(0.125, 0.375, 0.75)	(0.125, 0.375, 0.75)	(0.25, 0.562, 1.0)
C ₂	(0.375, 0.75, 1.0)	(0.0, 0.25, 0.50)	(0.187, 0.50, 0.75)	(0.0, 2.5, 5.0)	(0.375, 0.75, 1.0)
C ₃	(0.25, 0.562, 1.0)	(0.25, 0.562, 1.0)	(0.25, 0.562, 1.0)	(0.25, 0.562, 1.0)	(0.25, 0.562, 1.0)
C ₄	(0.083, 0.33, 0.75)	(0.167, 0.50, 1.0)	(0.083, 0.33, 0.75)	(0.167, 0.50, 1.0)	(0.167, 0.50, 1.0)
C ₅	(0.25, 0.562, 1.0)	(0.25, 0.562, 1.0)	(0.25, 0.562, 1.0)	(0.25, 0.562, 1.0)	(0.125, 0.375, 0.75)

Com base na equação 15, a solução ideal positiva *fuzzy* (FPIS) é definida pela expressão 21. Da mesma forma, por meio da equação 16, a solução ideal negativa *fuzzy* (FNIS) é definida pela expressão 22.

$$A^+ = [(1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1), (1, 1, 1)] \quad (21)$$

$$A^- = [(0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0), (0, 0, 0)] \quad (22)$$

Usando a equação 17, obteve-se um conjunto medida de separação d_i^+ correspondente à distância entre a FPIS e a pontuação de cada fornecedores em cada critério, como mostra o Quadro 14.

Quadro 14 Distâncias das alternativas de FPIS para cada critério

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
$d(A_1, A^+)$	0.6374	0.3886	0.5013	0.6701	0.5013
$d(A_2, A^+)$	0.5013	0.7773	0.5013	0.5611	0.5013
$d(A_3, A^+)$	0.6374	0.5694	0.5013	0.6701	0.5013
$d(A_4, A^+)$	0.6374	0.7773	0.5013	0.5611	0.5013
$d(A_5, A^+)$	0.5013	0.3886	0.5013	0.5611	0.6374

Analogamente, usando a equação 18, obteve-se d_i^- , que corresponde à distância entre a FNIS e a pontuação de cada fornecedores em cada critério, como mostra o Quadro 15.

Quadro 15 Distâncias das alternativas de FNIS para cada critério

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
$d(A_1, A^-)$	0.4895	0.7535	0.6780	0.4763	0.6780
$d(A_2, A^-)$	0.6780	0.3227	0.6780	0.6526	0.6780
$d(A_3, A^-)$	0.4895	0.5316	0.6780	0.4763	0.6780
$d(A_4, A^-)$	0.4895	0.3227	0.6780	0.6526	0.6780
$d(A_5, A^-)$	0.6780	0.7535	0.6780	0.6526	0.4895

Usando a equação 20 e os valores de d_i^+ e d_i^- , obteve-se o coeficiente de aproximação CC_i de cada uma das alternativas, mostrado no Quadro 16.

Quadro 16 Coeficiente de aproximação CC_i

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
d_i^+	2.6987	2.8423	2.8795	2.9783	2.5897
d_i^-	3.0752	3.0093	2.8532	2.8208	3.2515
CC_i	0.5326	0.5143	0.4977	0.4864	0.5566

A partir da ordenação do coeficiente de aproximação, foi construído o *ranking* apresentando no Quadro 17.

Quadro 17 *Ranking* dos fornecedores avaliados

Colocação	Fornecedores	Pontuação Final
1°	A ₅	0.5566
2°	A ₁	0.5326
3°	A ₂	0.5143
4°	A ₃	0.4977
5°	A ₄	0.4864

De acordo com o *ranking* do *fuzzy* TOPSIS, a preferência entre os fornecedores equivale a $A_5 > A_1 > A_2 > A_3 > A_4$. Portanto, como o desempenho do fornecedor 5 é o mais próximo de 1.0, esta alternativa é a melhor dentre o conjunto de fornecedores avaliados.

5.4 MÉTODO FUZZY AHP PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES

A Figura 19 ilustra o método *fuzzy* AHP para apoio à seleção de fornecedores.

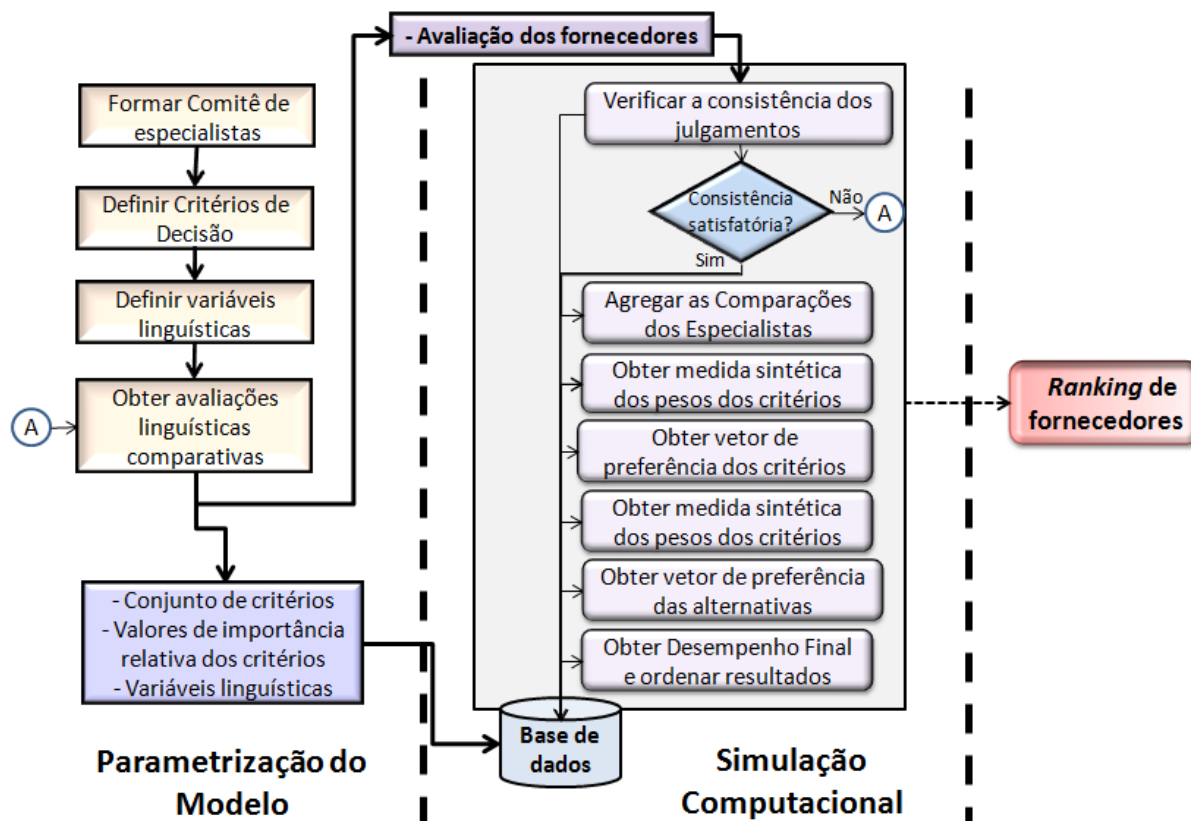


Figura 19 Método *fuzzy* AHP para seleção de fornecedores

Como mostra a Figura 19, assim como no método *fuzzy* TOPSIS, o modelo desenvolvido pressupõe a existência de um desenvolvedor para modelagem computacional e a participação de um especialista ou um grupo. O papel destes especialistas no processo decisório consiste em:

i. Construir uma hierarquia de decisão na qual devem ser identificados o objetivo da decisão, os critérios e as alternativas, conforme ilustra a Figura 20.

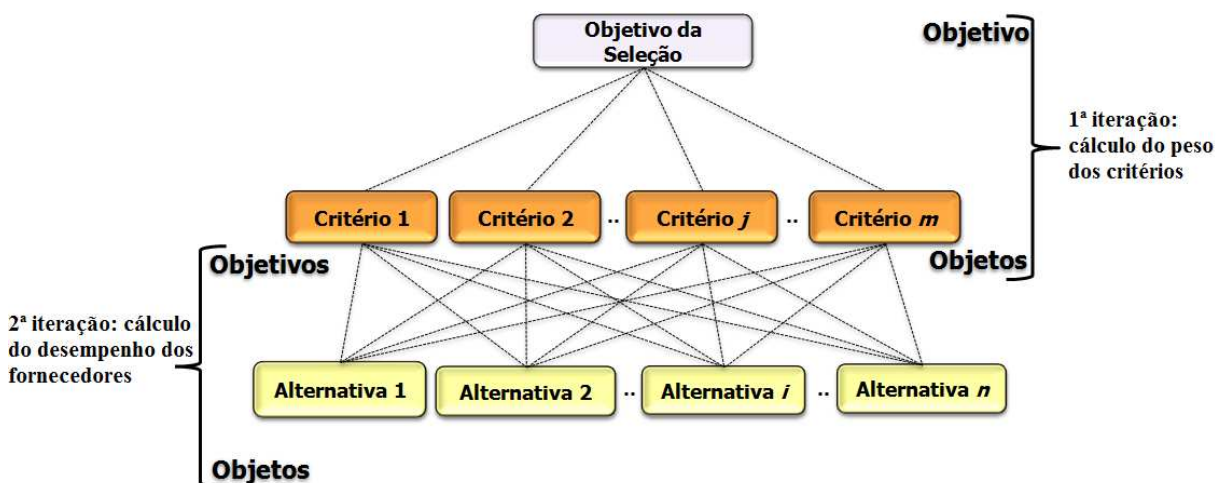


Figura 20 Hierarquia de decisão do método *fuzzy* AHP

ii. Definir um conjunto de termos linguísticos comparativos para quantificar o desempenho do fornecedor e outro conjunto para avaliar o peso dos critérios. Além disso, devem ser definidos os números *fuzzy* triangulares correspondentes a cada termo linguístico. O Quadro 18 apresenta um conjunto de termos linguísticos sugeridos para comparar os fornecedores. Já o Quadro 19 mostra um conjunto de termos linguísticos sugeridos para comparar os critérios de decisão. Nestes quadros, os valores de l_i , m_i e b_i são números *crisp* pertencentes ao mesmo universo de discurso.

Quadro 18 Conjunto de termos linguísticos para avaliação de fornecedores

Variáveis linguísticas	Números <i>fuzzy</i>
<i>Igualmente preferido</i>	(l_I, m_I, u_I)
<i>Moderadamente preferido</i>	(l_M, m_M, u_M)
<i>Fortemente preferido</i>	(l_F, m_F, u_F)
<i>Muito Fortemente preferido</i>	(l_{MF}, m_{MF}, u_{MF})
<i>Absolutamente preferido</i>	(l_A, m_A, u_A)

Quadro 19 Conjunto de termos linguísticos para avaliação de critérios

Variáveis linguísticas	Números <i>fuzzy</i>
<i>Igualmente importante</i>	(l_I, m_I, u_I)
<i>Moderadamente mais importante</i>	(l_M, m_M, u_M)
<i>Fortemente mais importante</i>	(l_F, m_F, u_F)
<i>Muito Fortemente mais importante</i>	(l_{MF}, m_{MF}, u_{MF})
<i>Absolutamente mais importante</i>	(l_A, m_A, u_A)

iii. Usando o conjunto de valores do Quadro 18, cada especialista deverá avaliar o desempenho dos fornecedores em relação aos critérios adotados;

iv. Analogamente, usando o conjunto de valores do Quadro 19, cada especialista deverá avaliar a importância relativa dos critérios de decisão;

v. Verificar a consistência dos julgamentos *fuzzy* coletados. A equação 23 deve ser usada para converter os números *fuzzy* triangulares em números *crisp*. Após a defuzificação, a verificação da consistência dos julgamentos pode ser conduzida como no Método AHP

tradicional. Julgamentos consistentes devem satisfazer à condição $CR \leq 0,20$. Julgamentos que não satisfaçam a esta condição devem ser revistos. Para verificar a consistência dos julgamentos, deve-se calcular o índice de consistência dos julgamentos (*consistency ratio* – CR), conforme equação 24, em que λ é o autovalor máximo e n é a ordem da matriz de comparações.

$$M_{crisp} = \frac{(4*m+l+u)}{6} \quad (23)$$

$$CR = \frac{\lambda - n}{(n-1)*RI} \quad (24)$$

O índice de consistência dos julgamentos também considera um erro de consistência aleatória (*random consistency index* – RI), cujos valores são determinados de acordo com a ordem da matriz de comparações. O Quadro 20 mostra um conjunto de valores de RI em diferentes cenários.

Quadro 20 Valores do índice de consistência aleatória em diferentes cenários.

N	RI
3	0,52
4	0,89
5	1,11
6	1,25
7	1,35
8	1,40
9	1,45

Fonte: Salomon (2010)

vi. Após assegurar a consistência dos julgamentos, deve-se parametrizar o modelo de simulação computacional utilizando as informações obtidas nos itens *i*, *ii* e *iii*. As informações obtidas no item *iv* são usadas na simulação de avaliação de fornecedores.

Conforme mostrado na Figura 20, no *fuzzy AHP* a avaliação das medidas na hierarquia é feita em duas iterações. Em cada iteração, deve-se avaliar o nível que cada um dos objetos satisfaz a um ou mais objetivos. A primeira iteração consiste na determinação dos pesos dos critérios. Neste caso, os critérios são vistos como objetos que possuem diferentes níveis de importância em relação aos objetivos da seleção de fornecedores. Desta forma, para cada critério *i*, deve-se obter uma medida de preferência M_{gi}^j em relação ao objetivo da decisão *j*, onde *M* é um número *fuzzy* triangular e *g* (do inglês *goal*) é somente um elemento frequentemente usado nesta notação.

A segunda iteração consiste na avaliação dos fornecedores e envolve os objetos do segundo e do terceiro nível da hierarquia. Neste caso, deve-se quantificar o quanto as

alternativas i satisfazem a diferentes objetivos (critérios de decisão). Desta forma, para cada alternativa i e cada especialista k , deve-se obter uma medida de preferência M_{ik}^j em relação aos critérios de decisão j .

Os cálculos para síntese de preferências em cada iteração são realizados pelo modelo de simulação computacional. Os procedimentos descritos a seguir devem ser realizados em cada uma das interações:

i. Sendo $X = \{x_1, x_i, \dots, x_n\}$ um conjunto de objetos, $G = \{g_1, g_j, \dots, g_m\}$ um conjunto de objetivos e $D = \{d_1, d_r, \dots, d_k\}$ os especialistas participantes da decisão, $m \cdot k$ valores de medida devem ser obtidos para cada objeto, como ilustra a equação 25.

$$M_{gi}^1, M_{gi}^j, \dots, M_{gi}^m, \quad \text{em que } i = 1, 2, \dots, n \quad (25)$$

ii. Agregar as preferências dos k especialistas utilizando a equação 26, que representa a média aritmética entre os números *fuzzy*:

$$M_{gi}^j = \frac{1}{K} [M_{gi1}^j + M_{gir}^j + \dots + M_{gik}^j] \quad (26)$$

iii. Utilizando as medidas M_{gi}^j , uma medida sintética S_i deve ser calculada para cada objeto usando a equação 27.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (27)$$

Na equação 27, o operador \otimes denota uma operação de multiplicação entre números *fuzzy*. O valor do primeiro fator desta equação pode ser obtido segundo a equação 28, que fornece a soma de todas as pontuações que um objeto obteve quando comparado aos demais elementos em relação a um dado objetivo.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (28)$$

O valor do segundo fator da equação 27 pode ser obtido usando a equação 29, que representa a soma de todas as pontuações que todos os objetos alcançaram quando comparados aos demais elementos em relação a um dado objetivo.

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_i} \right) \quad (29)$$

iii. Após obter a medida sintética de todos os objetos, calcula-se o grau de possibilidade que quantifica o quanto cada objeto é preferível sobre todos os objetos. Para cada objeto avaliado, deve-se obter uma medida de preferência aos pares e agregar todos os resultados de todos os pares posteriormente. Ou seja, para cada par de objetos $i=1$ e $i=2$, deve-se calcular o grau de preferência de S_2 sobre S_1 , definido por $V(S_2 \geq S_1)$, como descrevem as equações 30 e 31.

$$S_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq S_1 = (l_1, m_1, u_1) \quad (30)$$

$$V(S_2 \geq S_1) = \text{ALT}(S_1 \cap S_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (31)$$

Na equação 31, o valor de $\mu_{M_2}(d)$ pode ser definido pela equação 32. Na prática, quando há interseção entre S_1 e S_2 , $\mu_{M_2}(d)$ representa o maior grau (ou altura D) do conjunto resultante da união dessas medidas, conforme ilustra a Figura 21.

$$\mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{se } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{se } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (32)$$

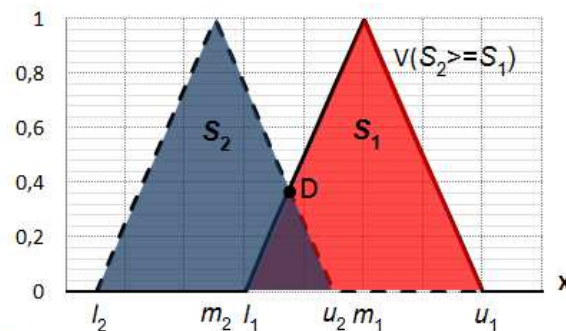


Figura 21 Comparação entre medidas sintéticas de preferência no *fuzzy* AHP

iv. Após obter o valor de preferência de cada objeto sobre os demais objetos, deve-se realizar a agregação destes valores, como mostra a equação 33.

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_n) = V[(S \geq S_1) \text{ AND } (S \geq S_2) \text{ AND } \dots \text{ AND } (S \geq S_n)] \quad (33)$$

Para realizar as operações dos conectores lógicos *AND*, é utilizado o operador *MIN*, como mostram as equações 34 e 35.

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_n) = \text{MIN } V(S \geq S_i), \quad \text{onde } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (34)$$

$$d(A_i) = \text{MIN } V(S_i \geq S_k) \quad \text{para } k = 1, 2, \dots, n; \quad k \neq i \quad (35)$$

Os procedimentos descritos devem ser realizados para obtenção da preferência global de cada um dos objetos ($d'(A_i)$) de cada uma das iterações. Desta forma, o autovetor referente ao desempenho dos fornecedores em relação a cada critério é dado pela equação 36 e o autovetor de pesos é definido pela equação 37. Nestas equações, os valores dos componentes dos autovetores são números *crisp*, definidos no intervalo [0,1]

$$X' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (36)$$

$$W' = (d'(C_1), d'(C_2), \dots, d'(C_m))^T \quad (37)$$

A pontuação final de cada alternativa é obtida por meio da multiplicação das pontuações das alternativas em relação a cada critério pelo peso do respectivo critério e, posteriormente, pela soma das pontuações ponderadas em relação a todos os critérios. Por último, as alternativas devem ser normalizadas e ranqueadas em ordem decrescente.

5.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO *FUZZY* AHP

5.5.1 Definição do Problema

Na aplicação do modelo *fuzzy* AHP foi utilizado o mesmo cenário de aplicação do *fuzzy* AHP, ou seja, o mesmo especialista foi entrevistado para avaliar os mesmos fornecedores do caso de aplicação do método *fuzzy* TOPSIS. Para coletar os julgamentos dos especialistas, também foi usado o questionário mostrado no Apêndice A (pg. 134).

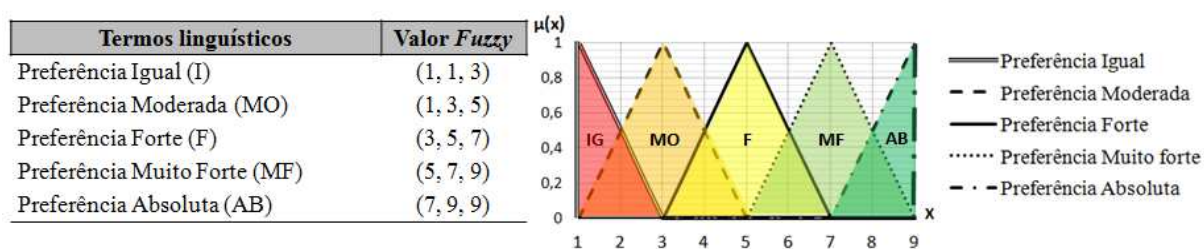
5.5.2 Definição dos Critérios e Escalas de Avaliação

Os critérios de decisão adotados foram os mesmos usados no *fuzzy* TOPSIS, mostrados no Quadro 21.

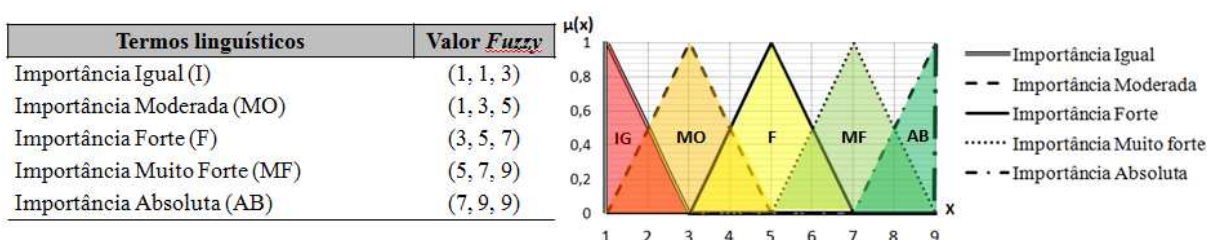
Quadro 21 Critérios de decisão utilizados na aplicação do *fuzzy* AHP para seleção de fornecedores

Identificação	Critérios de decisão
C ₁	Qualidade
C ₂	Custo
C ₃	Entrega
C ₄	Perfil do fornecedor
C ₅	Relacionamento com o fornecedor

Para avaliar a importância desses critérios, foi definida a escala comparativa mostrada na Figura 22. Assim como no estudo de Chang (1996), os termos linguísticos são representados por funções de pertinência triangulares.

**Figura 22** Escala comparativa usada para avaliar a importância dos critérios de decisão

Analogamente, para avaliar o desempenho dos fornecedores em relação a cada critério de decisão, definiu-se a escala mostrada na Figura 23.

**Figura 23** Escala comparativa usada para avaliar o desempenho dos fornecedores

5.5.3 Resultados da Simulação

As avaliações fornecidas pelos especialistas quanto ao peso dos critérios de decisão são apresentadas no Quadros 22.

Quadro 22 Julgamentos linguísticos do especialista sobre a importância dos critérios de decisão

	Qualidade	Custo	Entrega	Perfil	Relacionamento
Qualidade		1/F	I	AB	MO
Custo			MF	AB	F
Entrega				F	M
Perfil					1/M
Relacionamento					

Os Quadros 23, 24, 25, 26 e 27 apresentam as avaliações fornecidas por cada especialista sobre o desempenho dos fornecedores nos critérios de decisão adotados.

Quadro 23 Julgamentos linguísticos quanto ao desempenho dos fornecedores em qualidade (C1)C₁)

	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	Fornecedor 5
Fornecedor 1		1/M	1/F	1/M	I
Fornecedor 2			F	I	F
Fornecedor 3				1/M	M
Fornecedor 4					F
Fornecedor 5					

Quadro 24 Julgamentos linguísticos quanto ao desempenho dos fornecedores em custo (C₂) C₂)

	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	Fornecedor 5
Fornecedor 1		I	I	I	I
Fornecedor 2			I	I	I
Fornecedor 3				I	I
Fornecedor 4					I
Fornecedor 5					

Quadro 25 Julgamentos linguísticos quanto ao desempenho dos fornecedores em entrega (C₃) C₃)

	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	Fornecedor 5
Fornecedor 1		1/MF	1/M	1/M	I
Fornecedor 2			I	I	F
Fornecedor 3				I	F
Fornecedor 4					F
Fornecedor 5					

Quadro 26 Julgamentos linguísticos quanto ao desempenho dos fornecedores em perfil (C₄) C₄)

	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	Fornecedor 5
Fornecedor 1		1/M	M	1/M	1/F
Fornecedor 2			MF	M	M
Fornecedor 3				1/M	1/M
Fornecedor 4					1/M
Fornecedor 5					

Quadro 27 Julgamentos linguísticos quanto ao desempenho dos fornecedores em relacionamento (C₅) C₅)

	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	Fornecedor 5
Fornecedor 1		1/M	1/M	1/M	I
Fornecedor 2			I	I	I
Fornecedor 3				M	I
Fornecedor 4					I
Fornecedor 5					

Os Quadros 28, 29, 30, 31, 32 e 33 mostram os valores desses julgamentos linguísticos convertidos em números *fuzzy* triangulares.

Quadro 28 Valores dos números *fuzzy* correspondentes ao peso dos critérios

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
C ₁	(1.0, 1.0, 1.0)	(0.14, 0.20, 0.33)	(1.0, 1.0, 3.0)	(7.0, 9.0, 9.0)	(1.0, 3.0, 5.0)
C ₂	(3.0, 5.0, 7.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(5.0, 7.0, 9.0)	(7.0, 9.0, 9.0)	(3.0, 5.0, 7.0)
C ₃	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.11, 0.14, 0.20)	(1.0, 1.0, 1.0)	(3.0, 5.0, 7.0)	(1.0, 3.0, 5.0)
C ₄	(0.11, 0.11, 0.14)	(0.11, 0.11, 0.14)	(0.14, 0.20, 0.33)	(1.0, 1.0, 1.0)	(0.20, 0.33, 1.0)
C ₅	(0.20, 0.33, 1.0)	(0.14, 0.20, 0.33)	(0.20, 0.33, 1.0)	(1.0, 3.0, 5.0)	(1.0, 1.0, 1.0)

Quadro 29 Valores dos números *fuzzy* correspondentes ao critério qualidade (C₁)C₁)

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
A ₁	(1.0, 1.0, 1.0)	(0.2, 0.33, 1.0)	(0.14, 0.20, 0.33)	(0.20, 0.33, 1.0)	(1.0, 1.0, 3.0)
A ₂	(1.0, 3.0, 5.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(3.0, 5.0, 7.0)	(1.0, 1.0, 3.0)	(3.0, 5.0, 7.0)
A ₃	(3.0, 5.0, 7.0)	(0.14, 0.20, 0.33)	(1.0, 1.0, 1.0)	(0.20, 0.33, 1.0)	(1.0, 3.0, 5.0)

A₄	(1.0, 3.0, 5.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(1.0, 3.0, 5.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(3.0, 5.0, 7.0)
A₅	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.14, 0.20, 0.33)	(0.20, 0.33, 1.0)	(0.14, 0.20, 0.33)	(1.0, 1.0, 1.0)

Quadro 30 Valores dos números *fuzzy* correspondentes ao critério entrega (C2)C₂)

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	(1.0, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 3.0)	(1.0, 1.0, 3.0)	(1.0, 1.0, 3.0)	(1.0, 1.0, 3.0)
A₂	(0.33, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 3.0)	(1.0, 1.0, 3.0)	(1.0, 1.0, 3.0)
A₃	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 3.0)	(1.0, 1.0, 3.0)
A₄	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 3.0)
A₅	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 1.0)

Quadro 31 Valores dos números *fuzzy* correspondentes ao critério custo (C3)C₃)

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	(1.0, 1.0, 1.0)	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.20, 0.33, 1.0)	(0.20, 0.33, 1.0)	(1.0, 1.0, 3.0)
A₂	(5.0, 7.0, 9.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 3.0)	(1.0, 1.0, 3.0)	(3.0, 5.0, 7.0)
A₃	(1.0, 3.0, 5.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 3.0)	(3.0, 5.0, 7.0)
A₄	(1.0, 3.0, 5.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(3.0, 5.0, 7.0)
A₅	(1.0, 1.0, 3.0)	(0.14, 0.20, 0.33)	(0.14, 0.20, 0.33)	(0.14, 0.20, 0.33)	(1.0, 1.0, 1.0)

Quadro 32 Valores dos números *fuzzy* correspondentes ao critério perfil do fornecedor (C4)C₄)

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	(1.0, 1.0, 1.0)	(0.20, 0.33, 1.0)	(1.0, 3.0, 5.0)	(0.20, 0.33, 1.0)	(0.14, 0.20, 0.33)
A₂	(1.0, 3.0, 5.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(5.0, 7.0, 9.0)	(1.0, 3.0, 5.0)	(1.0, 3.0, 5.0)
A₃	(0.20, 0.33, 1.0)	(0.11, 0.14, 0.20)	(1.0, 1.0, 1.0)	(0.20, 0.33, 1.0)	(0.20, 0.33, 1.0)
A₄	(1.0, 3.0, 5.0)	(0.20, 0.33, 1.0)	(1.0, 3.0, 5.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(0.20, 0.33, 1.0)
A₅	(0.14, 0.20, 0.33)	(0.20, 0.33, 1.0)	(1.0, 3.0, 5.0)	(1.0, 3.0, 5.0)	(1.0, 1.0, 1.0)

Quadro 33 Valores dos números *fuzzy* correspondentes ao critério relacionamento com o fornecedor (C5)C₅)

	A₁	A₂	A₃	A₄	A₅
A₁	(1.0, 1.0, 1.0)	(0.20, 0.33, 1.0)	(0.20, 0.33, 1.0)	(0.20, 0.33, 1.0)	(1.0, 1.0, 3.0)
A₂	(1.0, 3.0, 5.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 3.0)	(1.0, 1.0, 3.0)	(1.0, 1.0, 3.0)
A₃	(1.0, 3.0, 5.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(1.0, 3.0, 5.0)	(1.0, 1.0, 3.0)
A₄	(1.0, 3.0, 5.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.20, 0.33, 1.0)	(1.0, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 3.0)
A₅	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(0.33, 1.0, 1.0)	(1.0, 1.0, 1.0)

Usando a equações 23 e 24, verificou-se a consistência dos julgamentos coletados. Os índices de consistência obtidos são mostrados no Quadro 35. Analisando este quadro, verifica-se que todos os julgamentos comparativos foram consistentes, já que todos os valores de *CI* são menores que 0,20.

Quadro 34 Índices de consistência calculados para os julgamentos coletados

	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	Pesos
CI	0.1253	0.1677	0.0839	0.1081	0.1312	0.1535

Para sintetizar as preferências da hierarquia, na primeira 1ª iteração calculou-se um valor de medida sintética de cada um dos critérios avaliados usando a equação 29.

$$S_{c1} = (10.14, 14.20, 18.33) \otimes \left(\frac{1}{75.48}, \frac{1}{57.96}, \frac{1}{37.69} \right) = (0.13, 0.24, 0.47) \quad (38)$$

$$S_{c2} = (19.0, 27.0, 33.0) \otimes \left(\frac{1}{75.48}, \frac{1}{57.96}, \frac{1}{37.69} \right) = (0.25, 0.46, 0.85) \quad (39)$$

$$S_{c3} = (5.44, 10.14, 14.20) \otimes \left(\frac{1}{75.48}, \frac{1}{57.96}, \frac{1}{37.69} \right) = (0.07, 0.17, 0.36) \quad (40)$$

$$S_{c4} = (1.56, 1.75, 2.62) \otimes \left(\frac{1}{75.48}, \frac{1}{57.96}, \frac{1}{37.69} \right) = (0.02, 0.03, 0.06) \quad (41)$$

$$S_{c5} = (1.54, 4.86, 7.33) \otimes \left(\frac{1}{75.48}, \frac{1}{57.96}, \frac{1}{37.69} \right) = (0.03, 0.08, 0.21) \quad (42)$$

Posteriormente, essas medidas de desempenho foram comparadas de acordo com as equações 31 e 32. As comparações das medidas sintéticas do critério “qualidade” com os demais critérios são mostradas pelas equações 43, 44, 45 e 46.

$$V(S_{c1} \geq S_{c2}) = \frac{l_2 - u_1}{(m_1 - u_1) - (m_2 - l_2)} = \frac{0.25 - 0.47}{(0.24 - 0.47) - (0.46 - 0.25)} = 0.50 \quad (43)$$

$$V(S_{c1} \geq S_{c3}) = 0.24 > 0.17 = 1.00 \quad (44)$$

$$V(S_{c1} \geq S_{c4}) = 0.24 > 0.03 = 1.00 \quad (45)$$

$$V(S_{c1} \geq S_{c5}) = 0.24 > 0.08 = 1.00 \quad (46)$$

Usando os mesmos procedimentos apresentados, foram obtidos os valores de preferência da medida sintética de cada critério em relação aos demais. As equações 47, 48, 49 e 50 apresentam os valores de preferência obtidos pelas medidas sintéticas do critério “custo” em relação aos demais critérios avaliados.

$$V(S_{c2} \geq S_{c1}) = 1.00 \quad (47)$$

$$V(S_{c2} \geq S_{c3}) = 1.00 \quad (48)$$

$$V(S_{c2} \geq S_{c4}) = 1.00 \quad (49)$$

$$V(S_{c2} \geq S_{c5}) = 1.00 \quad (50)$$

As equações 51, 52, 53 e 54 referem-se aos valores de preferência obtidos pelas medidas sintéticas do critério “entrega” em relação aos demais critérios avaliados.

$$V(S_{c3} \geq S_{c1}) = 0.77 \quad (51)$$

$$V(S_{C3} \geq S_{C2}) = 0.29 \quad (52)$$

$$V(S_{C3} \geq S_{C4}) = 1.00 \quad (53)$$

$$V(S_{C3} \geq S_{C5}) = 1.00 \quad (54)$$

As equações 55, 56, 57 e 58 mostram os valores de preferência obtidos pelas medidas sintéticas do critério “perfil do fornecedor” em relação aos demais critérios avaliados.

$$V(S_{C4} \geq S_{C1}) = 0.00 \quad (55)$$

$$V(S_{C4} \geq S_{C2}) = 0.00 \quad (56)$$

$$V(S_{C4} \geq S_{C3}) = 0.00 \quad (57)$$

$$V(S_{C4} \geq S_{C5}) = 0.39 \quad (58)$$

Por último, as equações 59, 60, 61 e 62 referem-se aos valores obtidos pelas medidas sintéticas do critério “perfil do fornecedor” em relação aos demais critérios avaliados.

$$V(S_{C5} \geq S_{C1}) = 0.34 \quad (59)$$

$$V(S_{C5} \geq S_{C2}) = 0.00 \quad (60)$$

$$V(S_{C5} \geq S_{C3}) = 0.61 \quad (61)$$

$$V(S_{C5} \geq S_{C4}) = 1.00 \quad (62)$$

Utilizando as equações 34 e 35, obteve-se o peso de cada um dos critérios avaliados, conforme mostram as equações 63, 64, 65, 66 e 67.

$$\begin{aligned} d'(C_1) &= V[(S_{C1} \geq S_{C2}) \text{ AND } (S_{C1} \geq S_{C3}) \text{ AND } (S_{C1} \geq S_{C4}) \text{ AND } (S_{C1} \geq S_{C5})] = \\ &= V(S_{C1} \geq S_{C2}, S_{C3}, S_{C4}, S_{C5}) = \text{MIN}(0.50, 1.00, 1.00, 1.00) = 0.50 \end{aligned} \quad (63)$$

$$\begin{aligned} d'(C_2) &= V[(S_{C2} \geq S_{C1}) \text{ AND } (S_{C2} \geq S_{C3}) \text{ AND } (S_{C2} \geq S_{C4}) \text{ AND } (S_{C2} \geq S_{C5})] = \\ &= V(S_{C2} \geq S_{C1}, S_{C3}, S_{C4}, S_{C5}) = \text{MIN}(1.00, 1.00, 1.00, 1.00) = 1.00 \end{aligned} \quad (64)$$

$$d'(C_3) = V[(S_{C3} \geq S_{C1}) \text{ AND } (S_{C3} \geq S_{C2}) \text{ AND } (S_{C3} \geq S_{C4}) \text{ AND } (S_{C3} \geq S_{C5})] =$$

$$= V(S_{C3} \geq S_{C1}, S_{C2}, S_{C4}, S_{C5}) = \text{MIN}(0.77, 0.29, 1.00, 1.00) = 0.29 \quad (65)$$

$$\begin{aligned} d'(C_4) &= V[(S_{C4} \geq S_{C1}) \text{ AND } (S_{C4} \geq S_{C2}) \text{ AND } (S_{C4} \geq S_{C4}) \text{ AND } (S_{C4} \geq S_{C5})] = \\ &= V(S_{C4} \geq S_{C1}, S_{C2}, S_{C3}, S_{C5}) = \text{MIN}(0.00, 0.00, 0.00, 0.39) = 0.00 \end{aligned} \quad (66)$$

$$\begin{aligned} d'(C_5) &= V[(S_{C5} \geq S_{C1}) \text{ AND } (S_{C5} \geq S_{C2}) \text{ AND } (S_{C5} \geq S_{C3}) \text{ AND } (S_{C5} \geq S_{C4})] = \\ &= V(S_{C5} \geq S_{C1}, S_{C2}, S_{C3}, S_{C4}) = \text{MIN}(0.34, 0.00, 0.61, 1.00) = 0.00 \end{aligned} \quad (67)$$

Portanto, o autovetor de pesos é definido pela equação 68.

$$W = (0.50, 1.00, 0.28, 0.00, 0.00) \quad (68)$$

Visando encontrar os autovetores de pontuação final dos fornecedores, os mesmos procedimentos de cálculo apresentados foram usados na segunda iteração do método *fuzzy* AHP. As equações 69, 70, 71, 72 e 73 mostram o cálculo das medidas de preferência sintéticas dos fornecedores em relação ao critério 1 (qualidade).

$$S_{A1} = (2.54, 2.86, 6.33) \otimes \left(\frac{1}{65.33}, \frac{1}{41.13}, \frac{1}{24.03} \right) = (0.03, 0.06, 0.25) \quad (69)$$

$$S_{A2} = (9.0, 15.0, 23.0) \otimes \left(\frac{1}{65.33}, \frac{1}{41.13}, \frac{1}{24.03} \right) = (0.13, 0.34, 0.91) \quad (70)$$

$$S_{A3} = (5.34, 9.53, 14.33) \otimes \left(\frac{1}{65.33}, \frac{1}{41.13}, \frac{1}{24.03} \right) = (0.08, 0.22, 0.57) \quad (71)$$

$$S_{A4} = (6.33, 13.00, 19.00) \otimes \left(\frac{1}{65.33}, \frac{1}{41.13}, \frac{1}{24.03} \right) = (0.09, 0.30, 0.76) \quad (72)$$

$$S_{A5} = (0.82, 2.73, 2.66) \otimes \left(\frac{1}{65.33}, \frac{1}{41.13}, \frac{1}{24.03} \right) = (0.02, 0.06, 0.14) \quad (73)$$

Usando os mesmos procedimentos ilustrados por essas equações, foram calculados os valores de medida sintética para cada fornecedor em relação a cada critério avaliado. Os valores resultantes são mostrados no Quadro 35.

Quadro 35 Valores de S_i relativos ao desempenho dos fornecedores em cada critério

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
A_1	(0.03, 0.06, 0.25)	(0.03, 0.06, 0.22)	(0.11, 0.20, 0.71)	(0.04, 0.12, 0.41)	(0.04, 0.09, 0.39)
A_2	(0.13, 0.34, 0.91)	(0.16, 0.35, 0.82)	(0.09, 0.20, 0.60)	(0.14, 0.43, 1.25)	(0.09, 0.23, 0.84)
A_3	(0.08, 0.22, 0.57)	(0.09, 0.26, 0.60)	(0.08, 0.20, 0.49)	(0.02, 0.05, 0.21)	(0.08, 0.29, 0.84)
A_4	(0.09, 0.30, 0.76)	(0.08, 0.26, 0.53)	(0.06, 0.20, 0.38)	(0.05, 0.19, 0.65)	(0.06, 0.20, 0.62)

A₅	(0.02, 0.06, 0.,14)	(0.03, 0.06, 0.18)	(0.05, 0.20, 0.27)	(0.05, 0.19, 0.61)	(0.04, 0.16, 0.28)
----------------------	---------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Conforme equações 31 e 32, usando os mesmos procedimentos comparativos demonstrados nas equações 43, 44, 45 e 46, para cada critério avaliado, obteve-se uma medida de preferência das medidas sintéticas de cada alternativa em relação às demais. As equações 74, 75, 76 e 77 apresentam os valores obtidos pela alternativa 1 em relação ao critério “qualidade”.

$$V(S_{A1} \geq S_{A2}) = 0.29 \quad (74)$$

$$V(S_{A1} \geq S_{A3}) = 0.53 \quad (75)$$

$$V(S_{A1} \geq S_{A4}) = 0.40 \quad (76)$$

$$V(S_{A1} \geq S_{A5}) = 1.00 \quad (77)$$

As equações 78, 79, 80 e 81 apresentam os valores obtidos pela alternativa 2 em relação ao critério “qualidade”.

$$V(S_{A2} \geq S_{A1}) = 1.00 \quad (78)$$

$$V(S_{A2} \geq S_{A3}) = 1.00 \quad (79)$$

$$V(S_{A2} \geq S_{A4}) = 1.00 \quad (80)$$

$$V(S_{A2} \geq S_{A5}) = 1.00 \quad (81)$$

As equações 82, 83, 84 e 85 apresentam os valores obtidos pela alternativa 3 em relação ao critério “qualidade”.

$$V(S_{A3} \geq S_{A1}) = 1.00 \quad (82)$$

$$V(S_{A3} \geq S_{A2}) = 0.77 \quad (83)$$

$$V(S_{A3} \geq S_{A4}) = 0.85 \quad (84)$$

$$V(S_{A3} \geq S_{A5}) = 1.00 \quad (85)$$

As equações 86, 87, 88 e 89 apresentam os valores obtidos pela alternativa 4 em relação ao critério “qualidade”.

$$V(S_{A4} \geq S_{A1}) = 1.00 \quad (86)$$

$$V(S_{A4} \geq S_{A2}) = 0.93 \quad (87)$$

$$V(S_{A4} \geq S_{A3}) = 1.00 \quad (88)$$

$$V(S_{A4} \geq S_{A5}) = 1.00 \quad (89)$$

Por último, as equações 90, 91, 92 e 93 apresentam os valores obtidos pela alternativa 5 em relação ao critério “qualidade”.

$$V(S_{A5} \geq S_{A1}) = 0.97 \quad (90)$$

$$V(S_{A5} \geq S_{A2}) = 0.03 \quad (91)$$

$$V(S_{A5} \geq S_{A3}) = 0.29 \quad (92)$$

$$V(S_{A5} \geq S_{A4}) = 0.17 \quad (93)$$

Usando as equações 34 e 35, calculou-se o valor de desempenho relativo de cada uma das alternativas em relação ao critério “qualidade”, como mostram as equações 94, 95, 96, 97 e 98.

$$V(S_{A1} \geq S_{A2}, S_{A3}, S_{A4}, S_{A5}) = \text{MIN}(0.29, 0.52, 0.40, 1.00) = 0.29 \quad (94)$$

$$V(S_{A2} \geq S_{A1}, S_{A3}, S_{A4}, S_{A5}) = \text{MIN}(1.00, 1.00, 1.00, 1.00) = 1.00 \quad (95)$$

$$V(S_{A3} \geq S_{A1}, S_{A2}, S_{A4}, S_{A5}) = \text{MIN}(1.00, 0.77, 0.85, 1.00) = 0.77 \quad (96)$$

$$V(S_{A4} \geq S_{A1}, S_{A2}, S_{A3}, S_{A5}) = \text{MIN}(1.00, 0.93, 1.00, 1.00) = 0.93 \quad (97)$$

$$V(S_{A5} \geq S_{A1}, S_{A2}, S_{A3}, S_{A4}) = \text{MIN}(0.97, 0.03, 0.29, 0.17) = 0.03 \quad (98)$$

Portanto, o autovetor de desempenho dos fornecedores em relação ao critério 1 (qualidade) é definido pela equação 99. O autovetor normalizado é dado pela equação 100.

$$X'(C_1) = (d'(A_1), d'(A_2), d'(A_3), d'(A_4), d'(A_5))^T = (0.29, 1.00, 0.77, 0.93, 0.03) \quad (99)$$

$$X(C_1) = (0.10, 0.33, 0.25, 0.31, 0.01) \quad (100)$$

O Quadro 36 sintetiza os valores de preferência obtidos pelas medidas sintéticas de cada alternativa em relação aos demais fornecedores nos 5 critérios avaliados.

Quadro 36 Valores de preferência obtidos na comparação de medidas sintéticas

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
V(S _{A1} ≥ S _{A2} , S _{A3} , S _{A4} , S _{A5})	0.29	0.16	1.00	0.47	0.61
V(S _{A2} ≥ S _{A1} , S _{A3} , S _{A4} , S _{A5})	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92
V(S _{A3} ≥ S _{A1} , S _{A2} , S _{A4} , S _{A5})	0.77	0.82	1.00	0.15	1.00
V(S _{A4} ≥ S _{A1} , S _{A2} , S _{A4} , S _{A5})	0.93	0.79	1.00	0.68	0.86
V(S _{A5} ≥ S _{A1} , S _{A2} , S _{A3} , S _{A4})	0.03	0.04	1.00	0.66	0.60

Conforme equação 36, obteve-se o vetor de desempenho dos fornecedores em relação a cada um dos critérios de decisão avaliados. A equação 101 apresenta o desempenho dos fornecedores no critério 2 (custo).

$$X'(C_2) = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T = (0.16, 1.00, 0.82, 0.80, 0.04) \quad (101)$$

A equação 102 mostra o desempenho dos fornecedores em no critério 3 (entrega).

$$X'(C_3) = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T = (1.00, 1.00, 1.00, 1.00, 1.00) \quad (102)$$

A equação 103 refere-se ao desempenho dos fornecedores em no critério 4 (perfil do fornecedor).

$$X'(C_4) = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T = (0.47, 1.00, 0.15, 0.68, 0.66) \quad (103)$$

A equação 104 refere-se ao desempenho dos fornecedores em no critério 5 (entrega).

$$X'(C_5) = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T = (0.61, 0.92, 1.00, 0.86, 0.60) \quad (104)$$

Normalizando estes autovetores, obtêm-se os valores mostrados nas equações 105, 106, 107 e 108.

$$X(C_2) = (0.06, 0.36, 0.29, 0.28, 0.01) \quad (105)$$

$$X(C_3) = (0.20, 0.20, 0.20, 0.20, 0.20) \quad (106)$$

$$X(C_4) = (0.16, 0.34, 0.05, 0.23, 0.22) \quad (107)$$

$$X(C_5) = (0.15, 0.23, 0.25, 0.22, 0.15) \quad (108)$$

Finalmente, utilizando os autovetores referentes ao desempenho dos fornecedores e ao peso dos critérios, calculou-se o desempenho final de cada alternativa, como mostram as equações 109, 110, 111, 112 e 113.

$$D(A_1) = (d'(A_{1C_1}) * d'(C_1) + d'(A_{1C_2}) * d'(C_2) + d'(A_{1C_3}) * d'(C_3) + d'(A_{1C_4}) * d'(C_4) + d'(A_{1C_5}) * d'(C_5)) = 0.6 \quad (109)$$

$$D(A_2) = (d'(A_{2C_1}) * d'(C_1) + d'(A_{2C_2}) * d'(C_2) + d'(A_{2C_3}) * d'(C_3) + d'(A_{2C_4}) * d'(C_4) + d'(A_{2C_5}) * d'(C_5)) = 1.79 \quad (110)$$

$$D(A_3) = (d'(A_{3C_1}) * d'(C_1) + d'(A_{3C_2}) * d'(C_2) + d'(A_{3C_3}) * d'(C_3) + d'(A_{3C_4}) * d'(C_4) + d'(A_{3C_5}) * d'(C_5)) = 1.50 \quad (111)$$

$$D(A_4) = (d'(A_{4C_1}) * d'(C_1) + d'(A_{4C_2}) * d'(C_2) + d'(A_{4C_3}) * d'(C_3) + d'(A_{4C_4}) * d'(C_4) + d'(A_{4C_5}) * d'(C_5)) = 1.56 \quad (112)$$

$$D(A_5) = (d'(A_{5C_1}) * d'(C_1) + d'(A_{5C_2}) * d'(C_2) + d'(A_{5C_3}) * d'(C_3) + d'(A_{5C_4}) * d'(C_4) + d'(A_{5C_5}) * d'(C_5)) = 0.35 \quad (113)$$

O Quadro 37 apresenta o *ranking* de alternativas construído a partir da ordenação dos valores de desempenho relativo obtidos.

Quadro 37 Ranking fornecido pelo fuzzy AHP

Fornecedores	Pontuação Final Normalizada	Pontuação final relativa	Ordenação
1	0.34	0.10	4º
2	1.00	0.31	1º
3	0.84	0.26	3º
4	0.87	0.27	2º
5	0.20	0.06	5º

De acordo com o *ranking* do *fuzzy* AHP, a ordem de preferência dos fornecedores é $A_2 > A_4 > A_3 > A_1 > A_5$, que é diferente da ordem de preferência fornecida pelo *fuzzy* TOPSIS. Portanto, de acordo com o método *fuzzy* AHP, A_2 é o melhor fornecedor avaliado.

CAPÍTULO 6

COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS *FUZZY* TOPSIS E *FUZZY* AHP

6.1 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO

Este capítulo apresenta uma análise comparativa que visa avaliar a adequação de uso dos métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores. Para isso, foram definidos 8 parâmetros de comparação com base em estudos que descrevem características do domínio de seleção de fornecedores e em outros estudos comparativos entre métodos MCDM. Esses parâmetros são mostrados no Quadro 38.

Quadro 38 Parâmetros de comparação adotados

Parâmetros de Comparação	Referência
Adequação à tomada de decisão em grupo	Holsapple e Whinston (1996)
Interação com usuário	Mahmoud e Garcia (2000)
Adequação à qualificação de fornecedores	De Boer, Labro e Morlacchi (2001)
Adequação à escolha final	De Boer, Labro e Morlacchi (2001)
Adequação a diferentes situações de compra	De Boer, Labro e Morlacchi (2001) Faris, Robinson e Wind (1967) Kraljic (1983)
Complexidade computacional	Chang (1996) Ertugrul e Karakasoglu (2008)
Adequação à tomada de decisão sob incerteza	De Boer, Wegen, Telgen (1998)

Os parâmetros de comparação definidos possibilitaram verificar aspectos relacionados à eficiência dos métodos avaliados e apontar limitações dos métodos *fuzzy* TOPSIS e do *fuzzy* AHP. A partir da identificação de algumas limitações, também foram propostas algumas melhorias para melhor adequar os métodos comparados ao domínio de seleção de fornecedores.

As subseções a seguir apresentam uma análise comparativa do *fuzzy* TOPSIS e do *fuzzy* AHP em relação a cada um dos parâmetros de comparação escolhidos. Uma síntese dos resultados desta comparação é apresentada na subseção 6.9.

6.2 ADEQUAÇÃO À TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO

Uma vez que as consequências das decisões de seleção de fornecedores influenciam no desempenho de diferentes funções dentro das organizações, é essencial a participação de

representantes de várias áreas no processo decisório de seleção de fornecedores. Dependendo da função do tomador de decisão dentro da organização, a disponibilidade de informações e o nível de conhecimento sobre elementos do problema costumam variar. Enquanto um gestor de qualidade pode avaliar de forma consistente o desempenho dos fornecedores em critérios relativos ao sistema de qualidade, qualidade do produto e serviços pós-venda, um engenheiro responsável por desenvolvimento de produtos está mais apto a avaliar o quanto aspectos técnicos do produto se adequam às necessidades da empresa. Neste sentido, a participação de especialistas de diferentes áreas da organização agrega valor à decisão porque permite obter avaliações mais precisas e confiáveis sobre elementos do problema.

Tanto o *fuzzy* TOPSIS e quanto o *fuzzy* AHP possibilitam utilizar a opinião de mais de um especialista durante a avaliação dos fornecedores e dos pesos dos critérios. Todavia, ambos agregam essas opiniões usando média aritmética entre números *fuzzy*. Uma limitação deste procedimento é que não é possível atribuir pesos à opinião dos especialistas consultados. Ponderar a opinião de especialistas em relação a aspectos de avaliação específicos é especialmente útil em situações em que:

i. A diretoria da empresa deseja incorporar aspectos estratégicos à seleção de fornecedores, seja para desenvolver novos produtos conjuntamente ou estabelecer parcerias em relação a outras práticas colaborativas. Neste caso, convém enfatizar a opinião de especialistas do alto nível hierárquico da empresa, aumentando o peso de seus julgamentos quanto à importância de alguns critérios de decisão, como perfil do fornecedor, potencial para colaboração, capacidade técnica, poder financeiro, nível de tecnologia, comunicação, localização geográfica, entre outros;

ii. Existem especialistas que trabalham diretamente com fornecedores em processos de negociação e de desenvolvimento, e por isso possuem informações mais precisas e confiáveis sobre o desempenho destes. Nestes cenários, convém aumentar o peso da opinião do especialista quanto ao desempenho dos fornecedores em relação à qualidade, à capacidade técnica, ao nível de tecnologia, à comunicação com o fornecedor, entre outros.

A fim de permitir a ponderação da opinião de especialistas no *fuzzy* TOPSIS e no *fuzzy* AHP, algumas adaptações são sugeridas: a utilização de avaliações linguísticas para atribuir níveis de peso à opinião dos especialistas e a substituição das equações de agregação de julgamentos. Para isso, inicialmente é necessário definir uma escala linguística para quantificar a importância da opinião dos especialistas em aspectos específicos. O Quadro 39 mostra uma escala sugerida.

Quadro 39 Escala sugerida para ponderar a opinião de especialistas

Escala Linguística (Intervalo: [0.0, 1.0])	Tipo de Números Fuzzy			
	Triangular	Valores Sugeridos	Trapezoidal	Valores Sugeridos
Fracamente Importante	(l_1, m_1, u_1)	(0.0, 0.0, 0.1)	(l_1, m_1, n_1, u_1)	(0.0, 0.0, 0.1, 0.23)
Pouco Importante	(l_2, m_2, u_2)	(0.0, 0.25, 0.50)	(l_2, m_2, n_2, u_2)	(0.1, 0.23, 0.33, 0.45)
Importante	(l_3, m_3, u_3)	(0.25, 0.50, 0.75)	(l_3, m_3, n_3, u_3)	(0.33, 0.45, 0.55, 0.77)
Muito Importante	(l_4, m_4, u_4)	(0.50, 0.75, 1.0)	(l_4, m_4, n_4, u_4)	(0.55, 0.78, 0.88, 1.0)
Absolutamente Importante	(l_5, m_5, u_5)	(0.75, 1.0, 1.0)	(l_5, m_5, n_5, u_5)	(0.77, 0.9, 1.0, 1.0)
Nº de parâmetros requeridos		15		20

Posteriormente, pode-se ponderar os julgamentos coletados e agregá-los simultaneamente a partir do cálculo de média ponderada *fuzzy*. O Quadro 40 apresenta uma equação sugerida para calcular o desempenho dos fornecedores (equação 114) no *fuzzy* TOPSIS considerando diferentes pesos associados aos julgamentos de cada especialista.

Quadro 40 Equações sugeridas para ponderar a opinião de especialistas no *fuzzy* TOPSIS

	Desempenho dos fornecedores (\tilde{X}_{ij})
Equação tradicional	$\frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^r + \tilde{x}_{ij}^k]$
Equação proposta	$[\tilde{p}_{ij}^1 \tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{p}_{ij}^r \tilde{x}_{ij}^r + \tilde{p}_{ij}^k \tilde{x}_{ij}^k] \otimes [\sum_{r=1}^k \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \tilde{p}_{ij}^r]^{-1}$ (114)
Em que: k : quantidade de especialistas participantes da decisão r : identificação do especialista i : identificação do critério de decisão j : identificação do fornecedor \tilde{x}_{ij}^r : desempenho de um fornecedor i em relação a um critério j definido por um especialista r \tilde{p}_{ij}^r : relevância da opinião de um especialista r sobre o desempenho de um fornecedor i em um critério j	

Adotando um raciocínio análogo no *fuzzy* AHP, é possível ponderar e agregar os julgamentos dos especialistas quanto ao desempenho dos fornecedores usando a equação 115, mostrada no Quadro 41.

Quadro 41 Equações sugeridas para ponderar a opinião de especialistas no *fuzzy* AHP

	Equação genérica para agregar medidas de preferência (M_{gi}^j)
Equação tradicional	$\frac{1}{K} [M_{gi1}^j + M_{gir}^j + M_{gik}^j]$
Equação proposta	$[\tilde{p}_j^1 M_{gi1}^j + \tilde{p}_j^r M_{gir}^j + \tilde{p}_j^k M_{gik}^j] \otimes [\sum_{r=1}^k \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \tilde{p}_{ij}^r]^{-1}$ (115)
Em que: k : Quantidade de especialistas participantes da decisão r : Identificação do especialista i : Identificação do critério de decisão j : Identificação do fornecedor M_{gir}^j : Medida de preferência do objeto i em relação ao objetivo j definida por um especialista r \tilde{p}_j^r : Relevância da opinião de um especialista r sobre o valor de M_{gir}^j	

As adaptações sugeridas requerem poucos esforços na definição de parâmetros, mantêm a utilização de avaliações linguísticas e utilizam operações algébricas simples entre números *fuzzy*.

Portanto, o *fuzzy* TOPSIS e o *fuzzy* AHP permitem que grupos de especialistas participem do processo decisório e avaliem aspectos específicos do problema de decisão. Embora ambos os métodos não permitam ponderar a opinião de especialistas, esses são flexíveis o suficiente para serem facilmente adaptados para isso.

6.3 INTERAÇÃO COM O USUÁRIO

Este parâmetro avalia a quantidade de interação que os métodos comparados requerem de seus usuários. Dependendo do método MCDM adotado e da quantidade de variáveis de um dado problema, a quantidade de julgamentos requeridos na avaliação dos pesos dos critérios e do desempenho dos fornecedores pode tornar o processo decisório exaustivo. O tempo consumido na coleta de dados também pode inviabilizar a condução de um processo decisório de forma estruturada, fazendo com que ferramentas multicritério desenvolvidas caiam em desuso por não proverem agilidade à tomada de decisão. Por isso, é importante avaliar o esforço requerido na aplicação de métodos MCDM em diferentes cenários de decisão.

No *fuzzy* TOPSIS, a quantidade total de julgamentos requeridos de especialistas pode ser obtida usando a equação 116. Já no *fuzzy* AHP, utiliza-se a equação 117. Nestas equações, n_a ao número de alternativas avaliados e n_c se refere ao número de critérios de decisão.

$$Q_{ac} = n_c + n_a * n_c \quad (116)$$

$$Q_{ac} = n_c * \frac{(n_c-1)}{2} + n_c * \left[n_a * \frac{(n_a-1)}{2} \right] \quad (117)$$

Usando essas equações, calculou-se a quantidade de julgamentos requeridos em diferentes cenários de decisão. Na Figura 24, é possível distinguir os cenários em que os métodos requerem maior interação com o usuário. Nos cenários Q_{2x2} , Q_{2x3} , Q_{2x4} , Q_{3x2} , o *fuzzy* AHP requer menor quantidade de julgamentos que o *fuzzy* TOPSIS. Já nos cenários Q_{3x3} , Q_{2x5} , ambos requerem a mesma quantidade de julgamentos. Nos demais cenários, o *fuzzy* TOPSIS requer menor quantidade de julgamentos de especialistas que o *fuzzy* AHP.

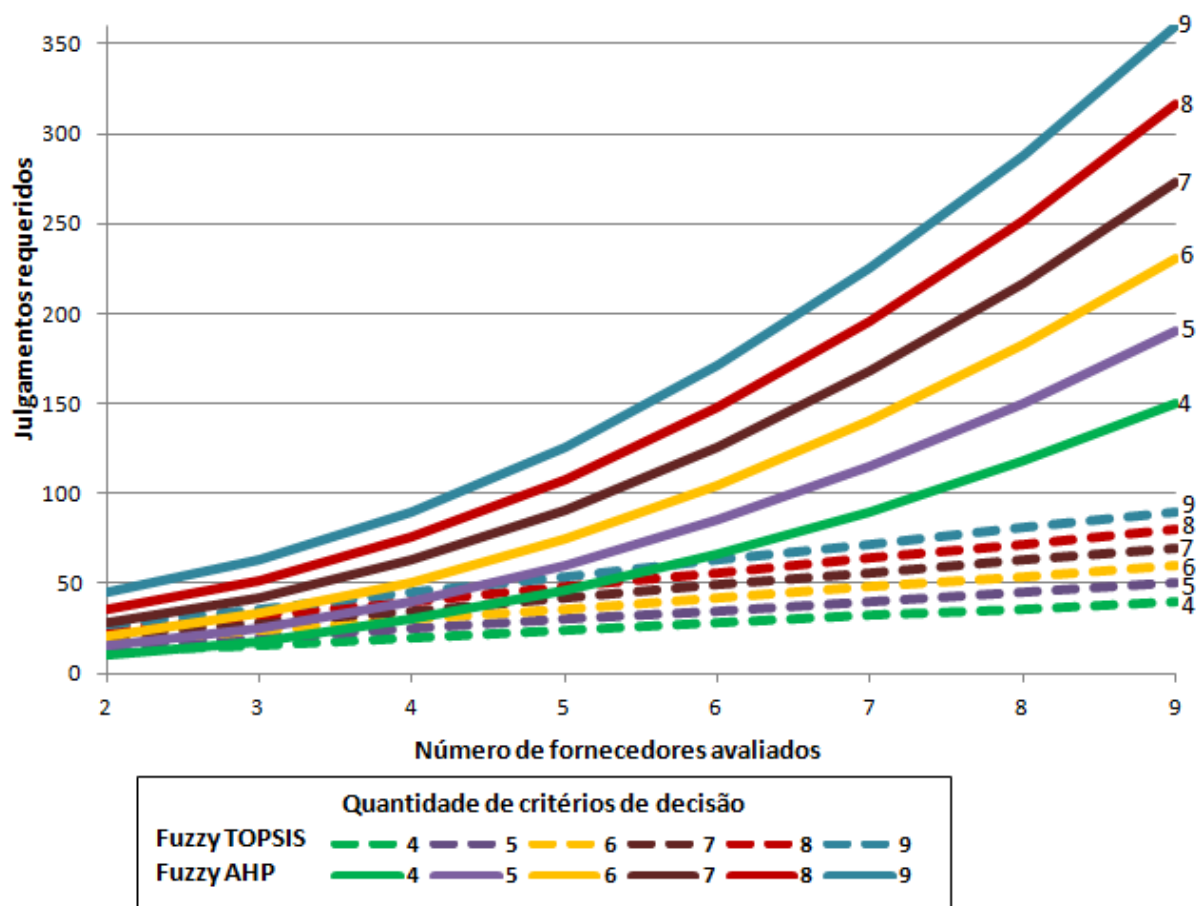


Figura 24 Contraste entre a quantidade de julgamentos requerida no *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS

Em situações em que poucos fornecedores precisam ser avaliados (até 4 ou 5), diante do baixo contraste entre os métodos comparados, a quantidade de interação requerida não deve ser vista como um parâmetro decisivo para escolha de um determinado método. Porém, analisando a inclinação das curvas referentes ao método *fuzzy* AHP na Figura 24, ainda que desprezando a variação na quantidade de critérios adotados, nota-se que quanto maior a quantidade de fornecedores avaliados, maior é o contraste entre os métodos e mais inviável se torna a adoção do *fuzzy* AHP. Em situações em que 9 fornecedores necessitam ser avaliados em relação a 9 critérios, o *fuzzy* AHP requer 4 vezes mais julgamentos que o *fuzzy* TOPSIS.

Diante disso, no que tange o esforço requerido na coleta de julgamentos de especialistas, verifica-se que o *fuzzy* TOPSIS apresenta um desempenho melhor o *fuzzy* AHP, principalmente em situações mais complexas.

6.4 ADEQUAÇÃO À QUALIFICAÇÃO DE FORNECEDORES

Seguindo o *framework* de De Boer, Labro e Morlacchi (2001), a qualificação de fornecedores pode ser vista como um problema de seleção cujo objetivo é eliminar alternativas que não alcancem um valor de desempenho mínimo requerido pelo comprador. Neste sentido, a resolução de um problema que envolve a qualificação de fornecedores requer que as pontuações finais obtidas pelas alternativas sejam comparadas com um valor de desempenho mínimo aceitável, definido conforme os requisitos do comprador e fornecido pelo tomador de decisão em uma escala absoluta de valores linguísticos ou de valores numéricos *crisp*.

Conforme discutido anteriormente, no *fuzzy AHP*, as medidas de preferência do *ranking* são derivadas de comparações entre alternativas. Uma implicação disso é que se uma alternativa alcança uma pontuação final de 0,60, isso significa que este fornecedor é “60% preferível” em relação aos demais avaliados, ou seja, sua pontuação final é uma medida de desempenho relativo. Por isso, no *fuzzy AHP*, em situações em que o melhor fornecedor avaliado possui um desempenho real abaixo do desempenho mínimo aceitável, sua pontuação final será um valor numérico alto e é possível que esse seja considerado qualificado, quando na verdade este fornecedor deveria ser desqualificado. Desta forma, nota-se que o *fuzzy AHP* não fornece informações de saída suficientes para classificar potenciais fornecedores como qualificados ou desqualificados, já que fornece valores cardinais no *ranking* de preferências relativas que não podem ser comparados com os valores de desempenho mínimo aceitável para qualificação (dados em uma escala absoluta).

Embora o método *fuzzy TOPSIS* de Chen (2000) forneça um *ranking* preferências em uma escala absoluta definida no intervalo $[0.0, 1.0]$, para avaliar sua adequação à qualificação de fornecedores também é necessário verificar a consistência dos valores de pontuação final fornecidos. Na qualificação de fornecedores, é desejável obter valores cardinais de saída consistentes para que estes valores possam ser comparados com os valores de desempenho mínimo aceitável sem gerar equívocos. Como a pontuação final das alternativas é calculada em função da proximidade da solução ideal positiva *fuzzy* (FPIS) e da solução ideal negativa *fuzzy* (FNIS), o valor da pontuação final das alternativas depende diretamente do procedimento usado na composição da FPIS e da FNIS.

Nos modelos *fuzzy TOPSIS* da literatura, há duas maneiras utilizadas para composição da solução ideal positiva *fuzzy* (FPIS) e solução ideal negativa *fuzzy* (FNIS): o método de Chen (2000) e o método de Chen, Lin e Huang (2006). Por isso, visando avaliar a adequação

do *fuzzy* TOPSIS à qualificação de fornecedores, algumas simulações foram realizadas para verificar a consistência dos valores de pontuação final obtidos por meio do uso método de ambos os métodos.

Conforme discutido na subseção 5.2, o procedimento proposto por Chen (2000) define a FNIS como sendo $A^- = (0, 0, 0)$ e a FPIS como $A^+ = (1, 1, 1)$. Nesta abordagem, para cada critério avaliado, a pontuação final de uma alternativa é calculada em função da distância de sua pontuação P da FNIS e da FPIS, conforme ilustram as Figuras 25 (a) e 25 (b).

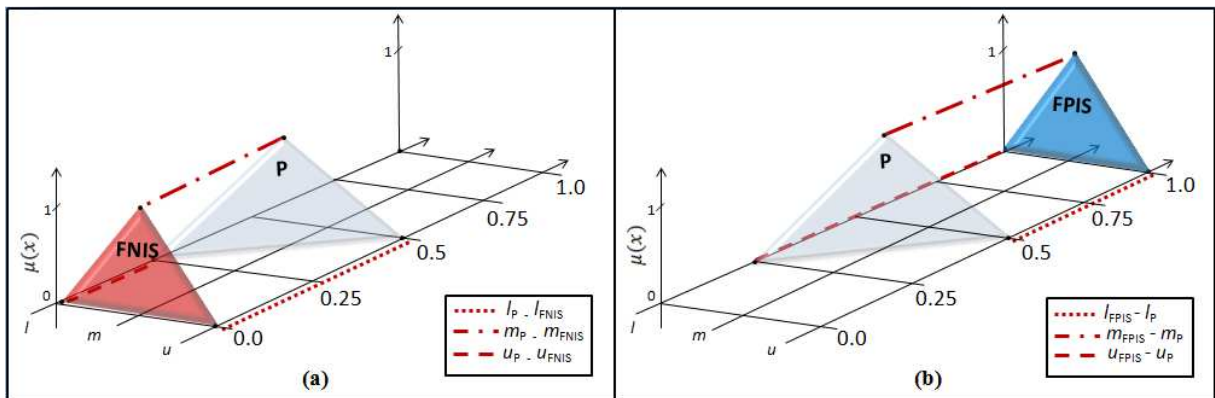


Figura 25 Distância entre uma pontuação P e as soluções ideais *fuzzy* segundo Chen (2000)

Outro método amplamente adotado para composição da FPIS e da FNIS foi proposto por Chen, Lin e Huang (2006) e é ilustrado na Figura 26. Neste método, os valores de FPIS e da FNIS são definidos de acordo com o desempenho dos demais fornecedores, sendo que R e M se referem a pior e à melhor pontuação alcançada pelos fornecedores em um dado critério, respectivamente. Para cada critério avaliado, os valores da FNIS são obtidos tomando-se o menor valor l_R da pontuação R e definindo-o como sendo o valor dos outros vértices, tal que $A^- = (l_R, l_R, l_R)$. Da mesma forma, os valores da FPIS são obtidos tomando-se o maior valor u_M da pontuação M e definindo-o como sendo o valor dos outros vértices, tal que $A^+ = (u_M, u_M, u_M)$.

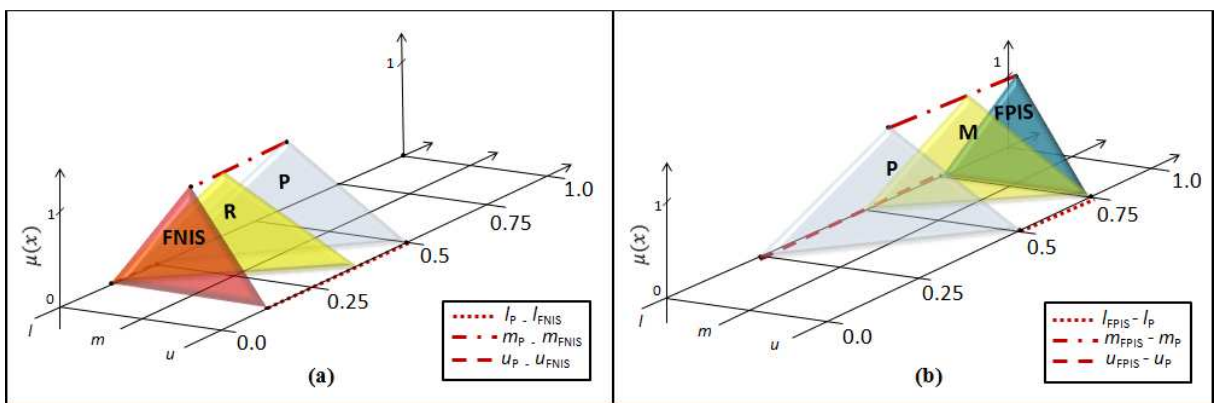


Figura 26 Distância entre uma P e as soluções ideais *fuzzy* segundo Chen, Lin e Huang (2006)

A escala linguística mostrada no Quadro 42 foi utilizada nas simulações realizadas.

Quadro 42 Escala linguística utilizada nas simulações para análise dos resultados do *fuzzy* TOPSIS

Termos linguísticos	Valor <i>Fuzzy</i>
Muito Baixo (MB)	(0.0, 0.0, 2.5)
Baixo (B)	(0.0, 2.5, 5.0)
Médio (M)	(2.5, 5.0, 7.5)
Alto (A)	(5.0, 7.5, 10.0)
Muito Alto (MA)	(7.5, 10.0, 10.0)

Para tornar os resultados das simulações previsíveis, considerou-se que todos os critérios possuem peso igual. Além disso, como mostra o Quadro 43, as pontuações dos 5 fornecedores avaliados foram atribuídas de modo que os valores de pontuação final correspondentes a cada um dos 5 níveis da escala linguística fossem encontrados. Uma vez que os valores linguísticos de entrada estão simetricamente distribuídos entre as alternativas em uma escala definida no intervalo [0, 10], é esperado que os valores de saída também estejam igualmente distanciados e que alcancem os extremos inferior e superior da escala de saída do *fuzzy* TOPSIS.

O Quadro 43 apresenta os resultados das simulações realizadas.

Quadro 43 Resultados da simulação usando os métodos de Chen (2000) e Chen, Lin e Huang (2006) para composição da FPIS e da FNIS

Alternativas	Valores de entrada			Desempenho Final		
	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Valor esperado	Chen (2000)	Chen, Lin e Huang (2006)
Fornecedor 1	MB	MB	MB	0.00	0.135	0.135
Fornecedor 2	B	B	B	0.25	0.293	0.293
Fornecedor 3	M	M	M	0.50	0.500	0.500
Fornecedor 4	A	A	A	0.75	0.707	0.707
Fornecedor 5	MA	MA	MA	1.00	0.865	0.865

Como mostra o Quadro 43, tanto a abordagem proposta por Chen (2000) quanto a abordagem proposta por Chen, Lin e Huang (2006) para composição da FPIS e FNIS não fornecem as pontuações finais de desempenho dos fornecedores condizentes com os valores esperados. Por exemplo, nessa simulação, como o fornecedor 5 obteve nota máxima (“muito alto”) em todos os critérios, evidentemente se espera que seu valor de desempenho final seja fornecido na escala do *ranking* do *fuzzy* TOPSIS como 1.0. Contudo, isso não acontece em ambos os métodos avaliados. Conseqüentemente, ao comparar o desempenho final do fornecedor com um valor de desempenho mínimo especificado de 90% (ou 0.90), este fornecedor seria desqualificado, quando na verdade deveria ocupar a 1ª posição do *ranking* de fornecedores qualificados. Mediante tais limitações, verifica-se que o *fuzzy* TOPSIS não é capaz de apoiar o problema de qualificação de fornecedores adequadamente.

Apesar de o *fuzzy* TOPSIS não se mostrar adequado à qualificação de fornecedores, é possível desenvolver outros procedimentos para composição da FPIS e da FNIS visando obter valores de desempenho final condizentes com os valores de entrada e permitindo assim o seu

uso adequado em problemas multiatributo de seleção. Uma sugestão proposta por este estudo consiste em utilizar integralmente o menor valor *fuzzy* da escala linguística de entrada para compor a FNIS em relação a todos os critérios, ou seja, neste caso, $A^- = (0.0, 0.0, 0.25)$. Analogamente, o maior valor dessa escala deve ser integralmente utilizado para compor a FPIS, ou seja, $A^+ = (0.75, 1.0, 1.0)$. Esta abordagem é ilustrada na Figura 27.

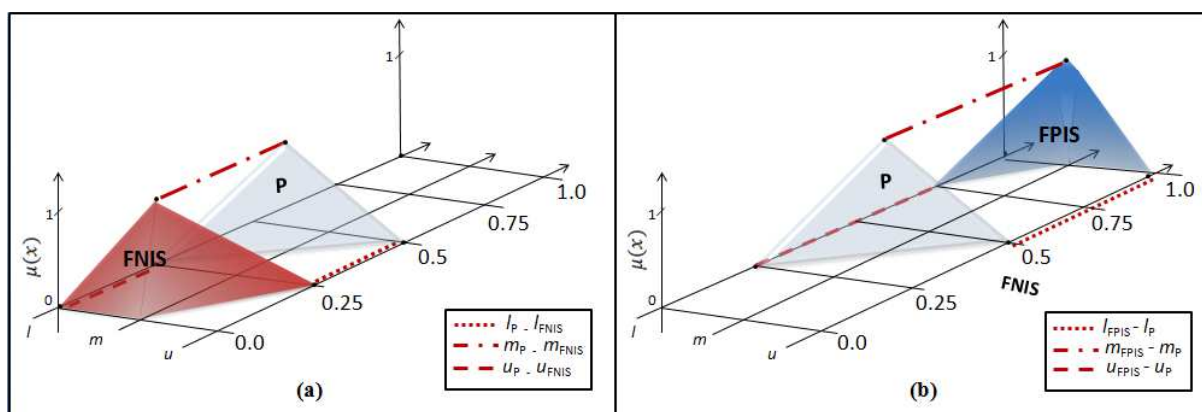


Figura 27 Distância entre uma pontuação P e as soluções ideais *fuzzy* segundo o método sugerido

Para testar a adequação desta abordagem à qualificação de fornecedores, algumas simulações foram feitas sob as mesmas condições das simulações anteriores. Os resultados são apresentados no Quadro 44.

Quadro 44 Resultados da simulação usando o procedimento sugerido para composição da FPIS e da FNIS

Alternativas	Valores de entrada			Desempenho Final	
	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Valor esperado	Método Sugerido
Fornecedor 1	MB	MB	MB	0.00	0.000
Fornecedor 2	B	B	B	0.25	0.232
Fornecedor 3	M	M	M	0.50	0.500
Fornecedor 4	A	A	A	0.75	0.768
Fornecedor 5	MA	MA	MA	1.00	1.000

Como mostra o Quadro 44, a abordagem sugerida para composição da FNIS e da FPIS apresenta valores mais condizentes com os valores esperados que os procedimentos de Chen (2000) e de Chen, Lin e Huang (2006). Principalmente nos casos em que os fornecedores possuem desempenho “muito alto” e “muito baixo”, esta abordagem fornece resultados muito mais condizentes com os valores de entrada que as demais.

A fim de comparar mais detalhadamente a abordagem sugerida com os procedimentos propostos por Chen (2000) e por Chen, Lin e Huang (2006), foram realizadas algumas simulações em dois cenários de seleção de fornecedores. No primeiro caso, todos os fornecedores possuem pontuações baixas em relação aos 3 critérios de decisão, sendo que o melhor fornecedor possui um desempenho “Médio”. O Quadro 44 apresenta os resultados das simulações realizadas para este caso.

Quadro 44 Resultados fornecidos pelo *fuzzy* TOPSIS em relação ao cenário 1

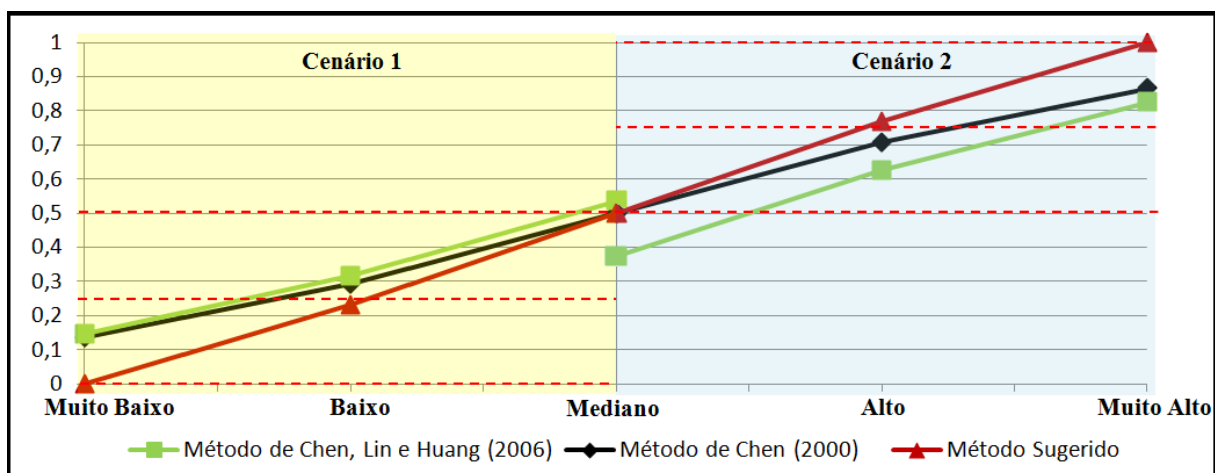
Alternativas	Valores de entrada			Desempenho Final			
	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Valor esperado	Chen (2000)	Chen, Lin e Huang (2006)	Método Sugerido
Fornecedor 1	MB	MB	MB	0.00	0.135	0.146	0.000
Fornecedor 2	B	B	B	0.25	0.293	0.316	0.232
Fornecedor 3	MB	MB	MB	0.00	0.135	0.146	0.000
Fornecedor 4	B	B	B	0.25	0.293	0.316	0.232
Fornecedor 5	Mo	Mo	Mo	0.50	0.500	0.536	0.500

No segundo caso, os fornecedores possuem pontuações de desempenho razoáveis nos 3 critérios de decisão avaliados, sendo o pior fornecedor possui um desempenho médio (aproximadamente 0,50). O Quadro 45 apresenta os resultados das simulações neste caso.

Quadro 45 Resultados fornecidos pelo *fuzzy* TOPSIS em relação ao cenário 2

Alternativas	Valores de entrada			Desempenho Final			
	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Valores esperados	Chen (2000)	Chen, Lin e Huang (2006)	Método Sugerido
Fornecedor 1	M	M	M	0.500	0.500	0.374	0.500
Fornecedor 2	A	A	A	0.750	0.707	0.626	0.768
Fornecedor 3	M	M	M	0.500	0.500	0.374	0.500
Fornecedor 4	A	A	A	0.750	0.707	0.626	0.768
Fornecedor 5	MA	MA	MA	1.000	0.865	0.824	1.000

Conforme pode ser visualizado na Figura 28, os resultados obtidos nas simulações mostram que, em ambos os casos, o procedimento sugerido fornece soluções mais próximas dos valores esperados do que as soluções fornecidas pelos métodos atualmente utilizados em modelos *fuzzy* TOPSIS para seleção de fornecedores.

**Figura 28** Proximidade das pontuações finais fornecidas pelo *fuzzy* TOPSIS dos valores esperados

Diferentemente do procedimento proposto por Chen, Lin e Huang (2006), na abordagem sugerida por este estudo as pontuações de saída de um fornecedor não variam em função das pontuações das demais alternativas avaliadas. Outra vantagem que esta abordagem possui sobre as outras existentes é que nos casos em que um fornecedor recebe nota máxima em todos os critérios, seu desempenho final será de 1.00 (100%), que é um valor condizente

com os valores de entrada. Da mesma forma, em situações em que um fornecedor recebe nota mínima em todos os critérios, seu desempenho final será de 0.0 (0.0%). Também em situações em que os fornecedores possuem desempenho “alto” ou “baixo” em todos os critérios, os valores fornecidos pelo procedimento sugerido também se aproximam muito mais dos valores, com menos de 2% de desvio em relação ao intervalo da escala.

Em suma, nem o *fuzzy* TOPSIS nem o *fuzzy* AHP se mostram adequados para apoiar a qualificação de fornecedores. Enquanto no *fuzzy* AHP as medidas de pontuação final de um fornecedor dependem diretamente do desempenho das demais alternativas avaliadas, no *fuzzy* TOPSIS as medidas de pontuação final sofrem distorções em relação aos valores esperados devido aos procedimentos usados na composição da FPIS e da FNIS. Apesar disso, o *fuzzy* TOPSIS é flexível para ser adaptado e readequado para lidar com a qualificação de fornecedores. Usando abordagem sugerida por este estudo para composição da FPIS e da FNIS, os valores de pontuação final dos fornecedores são consistentes o suficiente para serem comparados com valores de desempenho mínimo especificados pelo comprador. A adoção dessa abordagem permite usar o *fuzzy* TOPSIS para apoiar qualquer problema multiatributo que envolva a avaliação de muitas alternativas, e por isso necessita ser inicialmente modelado como um problema de seleção.

6.5 ADEQUAÇÃO À ESCOLHA FINAL

A última etapa do processo de seleção de fornecedores proposto por De Boer, Labro e Morlacchi (2001), denominada etapa de escolha final, pode envolver a ordenação dos fornecedores qualificados e a distribuição de cotas de pedidos entre os fornecedores contratados. Neste sentido, as decisões associadas a esta etapa consistem em um problema multiatributo de ordenação de alternativas, seguido por um problema multiobjetivo de alocação. Portanto, dada a natureza multiatributo dos métodos comparados, avaliou-se a adequação dos métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP no apoio à modelagem de problemas de ordenação de alternativas considerando múltiplos critérios.

Em problemas de ordenação sob múltiplos critérios, o objetivo da síntese de preferências é criar uma ordenação global que considere a contribuição de todos os critérios de decisão. Para isso, é necessário que os necessários métodos MCDM sejam compensatórios, ou seja, os métodos devem permitir que o alto desempenho de uma alternativa em um dado critério possa compensar (ao menos parcialmente) o seu baixo desempenho em outro critério de seleção.

No *fuzzy* TOPSIS, a síntese de preferências dos fornecedores é feita a partir da soma das distâncias entre as pontuações das alternativas e as soluções ideais *fuzzy* obtidas em cada um dos critérios avaliados (equações 17 e 18). Posteriormente, os valores obtidos por meio dessa soma são usados para obtenção de CC_i . Como CC_i representa o valor de desempenho global dos fornecedores, verifica-se que esse valor é calculado a partir da composição de medidas de desempenho em relação a cada um dos critérios de modo compensatório. Desta forma, verifica-se que o *fuzzy* TOPSIS é adequado para apoiar a escolha final de fornecedores por realizar a ordenação de alternativas considerando as contribuições de todos os critérios.

Já no método *fuzzy* AHP, embora a equação de síntese de preferências seja compensatória (equação 109, pg. 85), os valores dos autovetores usados nesse procedimento são obtidos de modo não compensatório. Conforme discutido anteriormente, as equações 31 e 32 propõem um procedimento de síntese de preferências que consiste na comparação entre as medidas sintéticas que representam as pontuações alcançadas pelos fornecedores. O resultado dessas comparações gera uma medida de preferência relativa unidimensional de uma alternativa sobre outra ($V(S_{A1} \geq S_{A2})$), que é fornecida no intervalo [0 e 1]. Posteriormente, o último passo consiste em agregar todos os valores obtidos, como mostra o exemplo da equação 118.

$$\begin{aligned} d'(A_1) &= V[(S_{A1} \geq S_{A2}) \text{ AND } (S_{A1} \geq S_{A3}) \text{ AND } (S_{A1} \geq S_{A4}) \text{ AND } (S_{A1} \geq S_{A5})] = \\ &= V(S_{A1} \geq S_{A2}, S_{A3}, S_{A4}, S_{A5}) = \text{MIN}(1.00, 1.00, 1.00, 0.50) = 0.50 \end{aligned} \quad (118)$$

Na equação 118, as medidas de preferência são agregadas usando o operador lógico “MIN”, que fornece como resultado um valor equivalente ao menor valor dentre os valores agregados. No exemplo mostrado, a alternativa A_1 possui preferência de 0.5 sobre A_5 e de 1.0 sobre A_2 , A_3 e A_4 em relação a um dado critério. Mesmo assim, sua pontuação final em relação ao critério avaliado será de 0.50. Desta forma, verifica-se que esse procedimento do método *fuzzy* AHP “desrespeita” o princípio de compensação e isso possui sérias implicações nos resultados finais fornecidos.

Como mostra a equação 119, extraída do caso ilustrativo de aplicação do *fuzzy* AHP, há situações em que o valor do peso calculado para um critério é igual a zero (0.0). Quando isso acontece, evidentemente o desempenho dos fornecedores no critério afetado acaba não sendo considerado na composição do desempenho global das alternativas. Diante disso, constata-se que o *fuzzy* AHP se mostra inadequado para lidar com a ordenação de

fornecedores por não garantir a compensação entre todos os critérios de decisão considerados na ordenação das alternativas.

$$d'(C_5) = V(S_{C5} \geq S_{C1}, S_{C2}, S_{C3}, S_{C4}) = \text{MIN}(0.34, 0.00, 0.61, 1.00) = 0.00 \quad (119)$$

Apesar da limitação apresentada, existem outros operadores de agregação na literatura relacionada à lógica *fuzzy* que podem ser usados em substituição ao operador “MIN”. Dois deles são os operadores de média aritmética e média geométrica, mostrados nas equações 120 e 121, respectivamente.

$$AG(.) = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \mu_{A_i}(x) \quad (120)$$

$$AG(.) = (\mu_{A_1}(x) * \mu_{A_2}(x) * \dots * \mu_{A_n}(x))^{\frac{1}{n}} \quad (121)$$

Algumas simulações computacionais envolvendo esses operadores de agregação foram realizadas com o intuito de comparar os resultados fornecidos pelo *fuzzy* AHP usando operadores compensatórios. Durante as simulações, o operador “MIN” foi substituído pelos operadores de média aritmética e média geométrica para calcular o autovetor de peso dos critérios. Os mesmos valores de julgamento de pesos dos critérios mostrados no caso de aplicação do *fuzzy* AHP foram utilizados (Quadro 28, pg. 78). O Quadro 46 compara os valores obtidos para o autovetor de pesos usando os operadores testados.

Quadro 46 Valores calculados para o autovetor de pesos usando diferentes operadores de agregação

Critério de decisão	Usando operador <i>MIN</i>	Usando média aritmética	Usando média geométrica
Qualidade	0.50	0.88	0.84
Custo	1.00	1.00	1.00
Entrega	0.28	0.76	0.69
Perfil do fornecedor	0.00	0.10	0.00
Relacionamento com o fornecedor	0.00	0.49	0.00

A partir dos valores obtidos na simulação, verifica-se que o operador de agregação média geométrica possui a mesma limitação do operador “MIN”: fornece valores nulos de preferência de um objeto a respeito de um objetivo. Já o operador média aritmética parece fornecer resultados mais apropriados, uma vez que não fornece valores nulos para quantificar o peso dos critérios e os valores de preferência obtidos se aproximam muito mais dos valores de pesos fornecidos pelo especialista no caso de aplicação do *fuzzy* TOPSIS (Quadro 12, pg.

68). Todavia, estudos empíricos mais aprofundados sobre esse assunto são necessários para testar a adequação deste e de outros operadores de agregação compensatórios no *fuzzy* AHP.

Em suma, enquanto o *fuzzy* TOPSIS se mostrou adequado para apoiar a escolha final de fornecedores, o *fuzzy* AHP se mostrou inadequado por calcular os valores dos autovetores de forma não compensatória, fazendo com que objetos avaliados possuam preferências nulas. Apesar desta limitação, o método é flexível para ser adaptado e readequado para lidar com problemas de ordenação envolvendo critérios compensatórios.

6.6 ADEQUAÇÃO A DIFERENTES SITUAÇÕES DE COMPRA

A existência de diferentes situações de compra implica na necessidade de tomar decisões considerando requisitos de diferentes cenários de seleção de fornecedores. Cada situação de compra possui uma finalidade diferente e defini-la claramente ajuda a elucidar o que se pretende alcançar por meio da seleção de fornecedores. A seguir, avalia-se a adequação dos métodos comparados às diferentes situações de compra.

6.6.1 Compra pela Primeira Vez

As situações de compra pela primeira vez apresentam alto nível de incerteza devido à inexperiência do comprador em especificar requisitos para um novo produto, à ausência de histórico de fornecedores qualificados e ao desconhecimento de possíveis alternativas de fornecimento. Diante da inexistência de uma base de fornecedores qualificados para fornecer um determinado produto, costuma existir grande quantidade de fornecedores para serem avaliados. Neste contexto, diante disso, é recomendável realizar uma pré-qualificação de fornecedores visando reduzir a quantidade de alternativas que serão avaliadas mais detalhadamente na etapa posterior do processo decisório (DE BOER, LABRO, MORLACCHI, 2001).

No *fuzzy* AHP, somente 9 fornecedores podem ser avaliados por vez, uma vez que Saaty (1980) recomenda utilizar no máximo 9 elementos (ou objetos) em cada nível da hierarquia de decisão. Essa limitação vem do fato de os processos cognitivos dos humanos serem limitados a comparar somente até 9 elementos de modo consistente. Diante desta limitação na quantidade de alternativas possíveis, conclui-se que este método não é adequado para apoiar a seleção de fornecedores em situações de compra pela primeira vez.

O *fuzzy* TOPSIS não possui limitações na quantidade de fornecedores que podem ser avaliados por vez, e é capaz de ordenar centenas de fornecedores simultaneamente sem perdas por escalabilidade. Esse método também não possui limitações na quantidade de critérios de decisão que podem ser usados na avaliação do desempenho dos fornecedores. Além disso, o *fuzzy* TOPSIS costuma requerer uma quantidade de julgamentos consideravelmente menor que o *fuzzy* AHP, especialmente em situações em que mais de 5 fornecedores são avaliados.

Portanto, em situações de compra pela primeira vez, enquanto o *fuzzy* AHP se mostra inadequado devido à baixa quantidade de fornecedores que podem ser avaliados, o *fuzzy* TOPSIS não possui nenhuma limitação na quantidade de critérios e de alternativas usados. Além disso, o *fuzzy* TOPSIS torna a coleta de julgamentos menos exaustiva e contribui para a agilidade da tomada de decisão nestas situações.

6.6.2 Recompra modificada

Em situações de recompra modificada, o objetivo da seleção de fornecedores pode ser substituir um fornecedor devido a problemas de abastecimento ocorridos ou estabelecer novos contratos com fornecedores conhecidos devido ao lançamento de um novo produto.

Quando o objetivo é substituir um fornecedor atual, a avaliação de fornecedores de forma comparativa parece ser mais apropriada. O *fuzzy* AHP utiliza esta abordagem e por isso o *ranking* de preferências é fornecido em uma escala de preferências relativas. Usando o *fuzzy* AHP, pode-se construir um *ranking* individual para cada critério de decisão avaliado e analisar os benefícios potenciais de determinadas trocas de fornecedores. Por isso, em situações de recompra modificada, o *fuzzy* AHP se mostra mais adequado que o *fuzzy* TOPSIS quando o objetivo é a substituição de fornecedores.

Em outros casos, quando o objetivo é estabelecer novos contratos com fornecedores conhecidos, assim como em situações de compra pela primeira vez, o *fuzzy* TOPSIS pode ser mais adequado devido à possibilidade de haver muitas de alternativas a serem avaliadas e à necessidade de agilidade no processo de tomada de decisão.

6.6.3 Recompra de itens de rotina

Em situações de recompra de itens de rotina, costuma haver grande disponibilidade de fornecedores, mas o baixo valor dos itens torna inviável a procura frequente por melhores alternativas de fornecimento. Nestas situações, modelos multicritério podem ser usados para monitorar o desempenho dos fornecedores, verificando se estes estão atendendo a requisitos

estabelecidos em cláusulas contratuais. Uma discussão mais detalhada sobre a adequação de uso métodos multicritérios para monitoramento de fornecedores é apresentada na subseção 6.6.4.

6.6.4 Recompra de itens estratégicos e itens de gargalo

Por último, em situações de recompra de itens estratégicos e de itens de gargalo, diante da baixa disponibilidade de fornecedores e da alta importância dos itens, há alto risco de abastecimento, seja devido à existência de requisitos de produto demasiadamente específicos ou à ausência de fornecedores adequados ao alcance. Diante do alto nível de importância destas situações, também recomenda-se o uso de métodos multicritério para monitoramento periódico do desempenho de fornecedores contratados. Essa avaliação é uma atividade fundamental na implantação de programas de melhoria contínua da qualidade e de desenvolvimento de fornecedores e faz parte da gestão de desempenho de cadeias de suprimentos. Devido a isso, é importante que o método MCDM adotado atenda a alguns requisitos desejáveis a sistemas de medição de desempenho.

Os primeiros estudos relacionados à medição de desempenho apontavam para a necessidade de elucidar a estratégia da organização, de forma a traduzi-la em objetivos estratégicos. Esses objetivos estratégicos devem ser desdobrados em um conjunto de medidas bem definidas (indicadores de desempenho), abrangendo desde o nível operacional ao estratégico da organização.

Keegan, Eiler e Jones (1989) sugerem que os indicadores de desempenho adotados em uma organização sejam focados em processos e atividades, e alocados a diferentes funções do negócio, de forma a atribuir responsabilidades aos funcionários sobre a medição de desempenho. Kaplan e Norton (1992) recomendam o uso balanceado de medidas internas e externas, bem como medidas financeiras e não financeiras.

Outra recomendação para modelagem de sistemas de medição de desempenho é que o resultado de uma medida (indicador de resultado) seja uma consequência de algumas outras (indicador de tendência). Um indicador de tendência é um indicador que mede aspectos que conduzirão a uma medida de desempenho futura (por exemplo, qualidade do produto é um indicador de tendência de satisfação do cliente). Um indicador de resultado é um indicador que mede as saídas ou o sucesso de atividades passadas (custo de manufatura é um indicador de eficiência de produção) (UNAHABHOKHA; PLATTS; TAN 2007). Diante disso,

indicadores de resultado e indicadores de tendência costumam estar integrados hierarquicamente.

Muitos autores também destacam a necessidade de revisar, atualizar e melhorar sistemas de medição de desempenho durante o estágio de uso, o que inclui a revisão periódica dos indicadores de desempenho adotados (NUDURUPATI; BITITCI, 2005; BITITCI et al., 2006; BRAZ; SCAVARDA; MARTINS, 2011). A Figura 25 sintetiza as principais diretrizes para medição de desempenho encontradas na literatura específica.

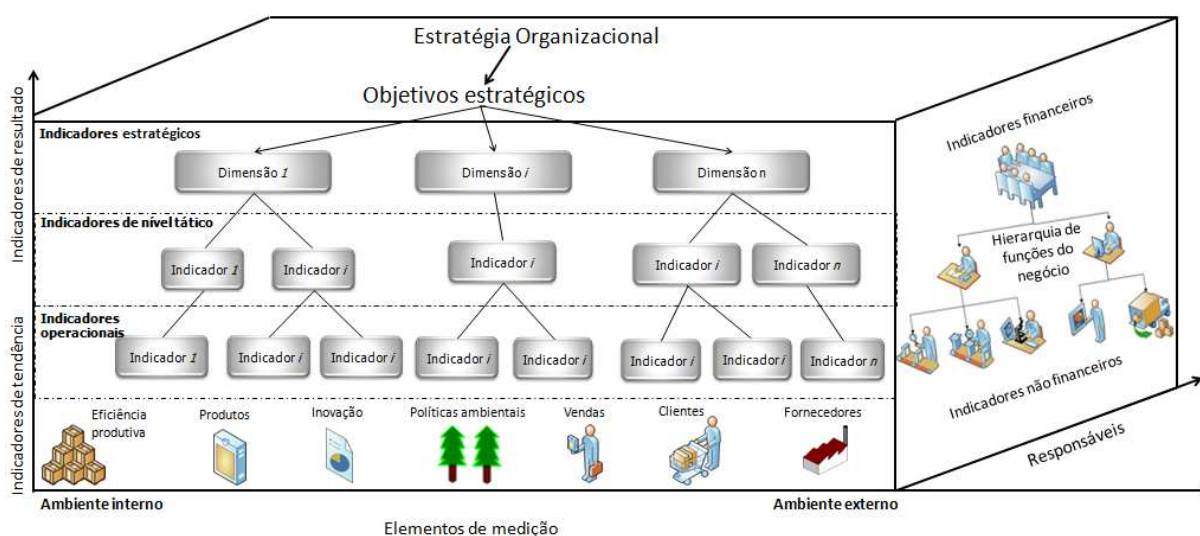


Figura 29 Síntese das principais recomendações para medição de desempenho organizacional

A partir das diretrizes apresentadas para medição de desempenho, foram definidos cinco fatores de avaliação para comparar a adequação dos métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP quando usados na modelagem de sistemas de medição de desempenho para monitoramento de fornecedores. A seguir, discute-se a adequação dos métodos comparados em relação a cada um destes parâmetros:

i. Avaliação de indicadores financeiros e não-financeiros: Como o *fuzzy* TOPSIS e o *fuzzy* AHP são capazes de lidar com a imprecisão nas informações e modelar fatores qualitativos ou intangíveis, ambos são adequados para modelar indicadores de desempenho qualitativos. Como a maioria desses indicadores se referem a indicadores de tendência e costumam avaliar aspectos não financeiros, estes podem ser avaliados apropriadamente usando variáveis linguísticas *fuzzy* com alto nível de imprecisão. Ambos os métodos também podem ser usados para modelar indicadores de resultado, que comumente consistem em indicadores financeiros. Porém, nesses casos deve-se ter um cuidado especial com os termos linguísticos e o nível de imprecisão atribuído aos números *fuzzy* utilizados. Devido à importância e à natureza quantitativa dos indicadores financeiros, há situações em que é necessário modelá-los com números *fuzzy* pouco imprecisos e utilizar uma escala de avaliação

própria para avaliar os valores de determinadas medidas financeiras. Uma discussão mais detalhada relacionada a esses aspectos da modelagem de incertezas é apresentada na subseção 6.8.

ii. Atribuição de responsáveis pela medição: Ambos os métodos comparados propiciam que as avaliações de indicadores de desempenho sejam feitas individualmente ou coletivamente, permitindo também que as quantidades de avaliações obtidas a respeito de cada variável sejam diferentes entre si. Os procedimentos de agregação da opinião dos avaliadores usados no *fuzzy* TOPSIS e no *fuzzy* AHP são simples e não geram complicações matemáticas, uma vez que as fórmulas usadas na agregação de julgamentos se baseiam em média aritmética *fuzzy* (equações 11, 12 e 26) e variam em função da quantidade k de opiniões obtidas. Desta forma, atribuir funcionários responsáveis para medir o desempenho de indicadores específicos é possível tanto no *fuzzy* TOPSIS quanto no *fuzzy* AHP.

iii. Desdobramento hierárquico de indicadores: O desdobramento hierárquico de indicadores de desempenho pode ser facilmente modelado no *fuzzy* AHP, posto que esse método utiliza uma hierarquia como estrutura básica e permite representar elementos em dois ou mais níveis hierárquicos. O método *fuzzy* TOPSIS proposto por Chen (2000) não é originalmente hierárquico, e por isso não permite modelar hierarquias de indicadores de desempenho. Contudo, o *fuzzy* TOPSIS é flexível o suficiente para ser adaptado e usado para modelar problemas em que o conjunto de métricas esteja organizado em hierarquia. Uma versão hierárquica do *fuzzy* TOPSIS é sugerida por Wang, Cheng e Huang (2011).

iv. Uso de registros históricos para avaliar o desempenho de fornecedores: Em situações de recompra de itens de rotina e de itens estratégicos, como os fornecedores monitorados são conhecidos, costuma haver um histórico disponível em relação a indicadores, como, por exemplo, índice de não conformidades, desempenho em entrega e flexibilidade. No monitoramento de desempenho de fornecedores, é interessante que os registros destas informações quantitativas possam ser usadas por especialistas da empresa para definir seus valores de julgamento na avaliação de fornecedores. Contudo, enquanto isso pode ser feito de forma rápida e simples no *fuzzy* TOPSIS usando escalas absolutas de números *fuzzy*, este processo é mais complicado e passível de inconsistências no *fuzzy* AHP, devido ao uso da abordagem comparativa par a par para quantificar valores de preferência. Desta forma, o *fuzzy* TOPSIS é mais apropriado para permitir o uso de registros históricos da empresa na avaliação contínua de fornecedores.

v. Atualização de indicadores de desempenho: A revisão do sistema de medição de desempenho é parte do planejamento estratégico da organização. Para que os indicadores

usados se mantenham alinhados com os objetivos estratégicos da organização, alguns autores sugerem que a revisão de indicadores de desempenho seja feita bimestralmente ou mensalmente (WISNER; FAWCETT, 1991). Diante disso, verifica-se que os métodos MCDM utilizados na avaliação contínua de fornecedores devem lidar com o comportamento dinâmico do sistema de medição de desempenho e suportar atualizações do sistema sem gerar inconsistências nos resultados da medição. Para avaliar a sensibilidade dos métodos *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS a revisões do sistema de medição de desempenho, foram realizadas algumas simulações de avaliação de fornecedores utilizando 5 cenários de medição diferentes. O Quadro 47 descreve cada um desses cenários.

Quadro 47 Descrição dos cenários de medição de desempenho simulados

Cenários simulados	Descrição dos cenários
Cenário 1	O desempenho de 5 fornecedores foi avaliado em relação a 5 indicadores de desempenho
Cenário 2	Devido a uma atualização do sistema de medição de desempenho, o indicador I_5 foi excluído
Cenário 3	Devido a uma atualização do sistema de medição de desempenho, os indicadores I_4 e I_3 também foram excluídos
Cenário 4	A empresa encerrou o contrato com o fornecedor 5 e por isso este não foi avaliado
Cenário 5	A empresa encerrou o contrato com o fornecedor 4 e por isso este não foi avaliado

O Quadro 48 apresenta os indicadores de monitoramento de fornecedores utilizados na simulação, definidos com base em Gunasekaran, Patel e Tirtiroglu (2001). Para analisar a sensibilidade dos modelos durante a atualização do sistema de medição de desempenho, em todos os cenários simulados, considerou-se que os fornecedores mantiveram as mesmas pontuações em todos os critérios avaliados. Além disso, foram atribuídos pesos iguais para todos os indicadores de desempenho utilizados e pontuações iguais para as alternativas em relação aos indicadores excluídos (I_3 , I_4 , I_5) durante as revisões do sistema de medição de desempenho.

Quadro 48 Indicadores de desempenho usados na simulação

Indicadores de desempenho	Valores atribuídos no <i>fuzzy</i> TOPSIS	Valores atribuídos no <i>fuzzy</i> AHP
I_1 – Nível de Qualidade	Os mesmos de C_1 no Quadro 12 (pg. 68)	Os mesmos de C_1 no Quadro 23 (pg. 77)
I_2 – Preço comparado ao mercado	Os mesmos de C_2 no Quadro 12 (pg. 68)	Os mesmos de C_2 no Quadro 24 (pg. 77)
I_3 – Representação técnica	Os mesmos de C_3 no Quadro 12 (pg. 68)	Os mesmos de C_3 no Quadro 25 (pg. 77)
I_4 – Habilidade de prevenir não-conformidades de entrega	Os mesmos de C_3 no Quadro 12 (pg. 68)	Os mesmos de C_3 no Quadro 25 (pg. 77)
I_5 – Flexibilidade da capacidade produtiva	Os mesmos de C_3 no Quadro 12 (pg. 68)	Os mesmos de C_3 no Quadro 25 (pg. 77)

Os valores dos números *fuzzy* correspondentes aos termos linguísticos utilizados nessas simulações envolvendo o *fuzzy* AHP são os mesmos valores mostrados na Figura 17.

Da mesma forma, os valores dos números *fuzzy* correspondentes aos termos linguísticos do *fuzzy* TOPSIS são os mesmos mostrados na Figura 22.

A Figura 30 apresenta dois gráficos construídos a partir dos resultados das simulações de monitoramento de desempenho de fornecedores usando o *fuzzy* AHP. A Figura 30 (a) mostra os valores de desempenho global normalizado e a Figura 30 (b) representa os mesmos valores como preferências relativas.

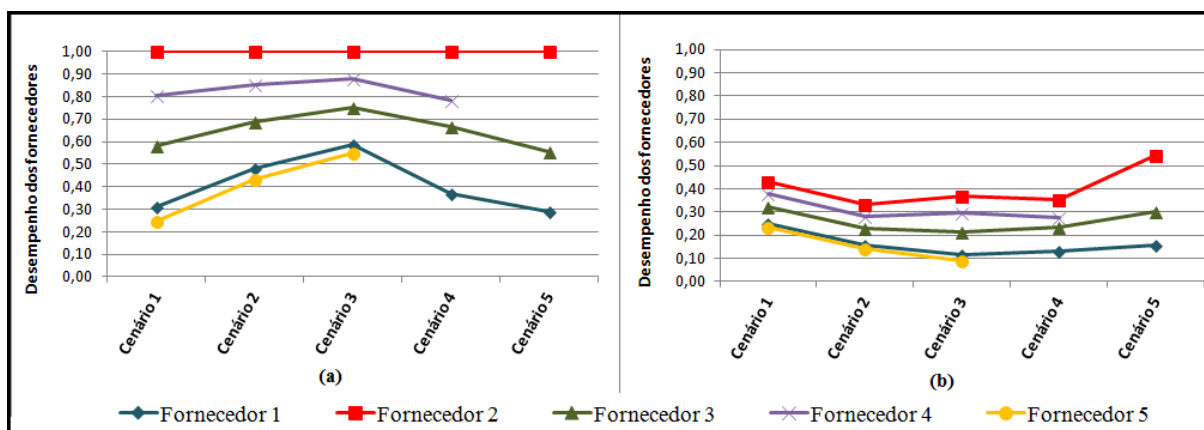


Figura 30 Resultados fornecidos pelo *fuzzy* AHP nas simulações de monitoramento de desempenho

Analisando a Figura 30, é possível inferir que o desempenho de todos os fornecedores variaram continuamente ao longo dos 5 cenários, quando na verdade o desempenho dos fornecedores em cada indicador continuou o mesmo e tais mudanças nos valores foram ocasionadas pelas mudanças no sistema de medição. Neste sentido, verifica-se que o *fuzzy* AHP deixa a desejar no que tange a atualização de indicadores de desempenho, pois, quando critérios ou alternativas são incluídos ou excluídos, os valores de pontuação final são alterados e, conseqüentemente, pode-se até alterar até a ordem do *ranking* de fornecedores. Esse fenômeno é conhecido como *ranking reversal*, e é uma limitação que também existe no AHP método proposto por Saaty (1980).

Já Figura 31 apresenta um gráfico construído a partir dos resultados das simulações de monitoramento de desempenho de fornecedores usando o *fuzzy* TOPSIS sob as mesmas condições do *fuzzy* AHP.

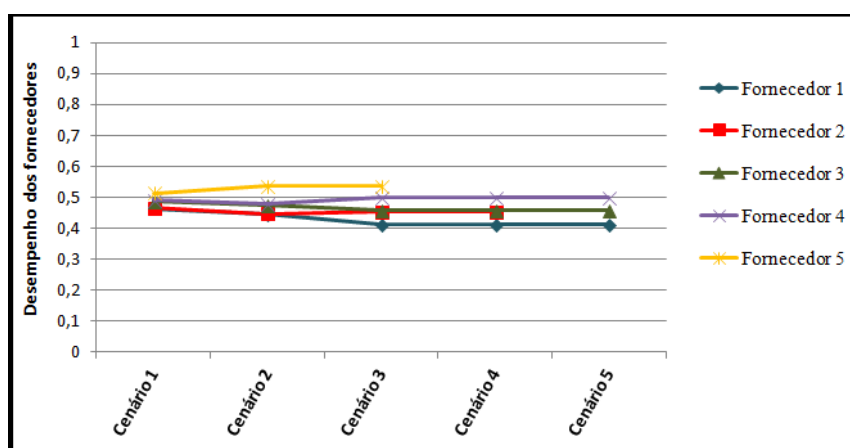


Figura 31 Resultados fornecidos pelo *fuzzy* TOPSIS nas simulações de monitoramento de desempenho

Os dados resultantes da simulação mostram que entre os cenários 1 e 2, ao excluir o indicador I_5 , a maior variação ocorrida foi no desempenho global do fornecedor 5, que aumentou 0.023 pontos na escala de resultados do *fuzzy* TOPSIS. Entre os cenários 2 e 3, ao excluir o indicador I_4 , a maior variação também ocorreu no desempenho global do fornecedor 5, equivalente a 0.032. A partir do cenário 3, quando foram eliminados os fornecedores 4 e 5, não ocorreu nenhuma alteração nos resultados fornecidos *fuzzy* TOPSIS. Portanto, diante dos resultados apresentados, conclui-se que o *fuzzy* TOPSIS se mostra mais adequado para lidar com atualizações de sistemas de medição de desempenho de fornecedores.

Resumido as comparações apresentadas nesta subseção, o Quadro 49 sintetiza os resultados obtidos pelo *fuzzy* TOPSIS e pelo *fuzzy* AHP em cada um dos aspectos comparados.

Quadro 49 Adequação dos métodos avaliados ao monitoramento de desempenho de fornecedores

Requisitos de Medição de Desempenho	<i>Fuzzy</i> TOPSIS	<i>Fuzzy</i> AHP
Avaliação de indicadores financeiros e não-financeiros	Adequado	Adequado
Atribuição de responsáveis pela medição	Adequado	Adequado
Desdobramento hierárquico de indicadores	Inadequado	Adequado
Uso de registros históricos para avaliar indicadores	Adequado	Inadequado
Atualização de indicadores de desempenho	Adequado	Inadequado

Portanto, a partir das discussões apresentadas nesta subseção, conclui-se que em situações de recompra de itens de rotina, de itens estratégicos e de itens de gargalo, quando modelos multicritério são usados como ferramenta para monitorar o desempenho de fornecedores, o *fuzzy* TOPSIS apresenta melhor desempenho que o *fuzzy* AHP.

6.7 COMPLEXIDADE COMPUTACIONAL

A complexidade computacional de um algoritmo pode ser medida em função de sua complexidade de tempo, que se refere a uma estimativa do tempo que o algoritmo consome

para ser concluído em função das entradas do problema. Para medir a complexidade de tempo do *fuzzy* TOPSIS e do *fuzzy* AHP, foi utilizado um método baseado em Chang (1996). Chang (1996) comparou o tempo computacional de sua abordagem *fuzzy* AHP com a abordagem de van Laarhoven e Pedrycz (1983) utilizando como critério de avaliação o número de multiplicações. Algumas operações associadas, como operações com raízes, exponenciais e operações lógicas, também foram contabilizadas como operações de multiplicação. O valor da função de complexidade T_n foi definido em uma função do número de alternativas avaliadas. Diferentemente de Chang (1996), neste estudo, o valor de T_{nm} foi definido também em função da quantidade de critérios de decisão adotados.

No método *fuzzy* TOPSIS, operações de multiplicação são usadas:

- i.* Para ponderar a matriz de decisão, a equação 13 requer nm multiplicações;
- ii.* $3nm$ multiplicações são necessárias para normalizar a matriz de decisão ponderada;
- iii.* Na equação 19, $7nm$ multiplicações são necessárias para calcular as distâncias entre as pontuações das alternativas e a solução ideal positiva *fuzzy*. Analogamente, $7nm$ multiplicações são necessárias para calcular as distâncias entre as pontuações das alternativas e a solução ideal negativa *fuzzy*.

Somando esses valores, o valor de T_{nm} no *fuzzy* TOPSIS é definido pela equação 122.

$$T_{nm} = nm + 3nm + 7nm + 7nm = 18mn \quad (122)$$

No método *fuzzy* AHP, o valor de T'_{nm} é composto como segue:

- i.* Em cada matriz de decisão do *fuzzy* AHP, $4n$ multiplicações são necessárias para calcular o índice de consistência. Considerando a existência de m matrizes de referentes ao desempenho dos fornecedores e de uma matriz de pesos, $4mn+4n$ multiplicações são necessárias;

ii. Na equação 29, $6n$ são requeridas no cálculo da medida sintética dos objetos de cada matriz. Logo, $6nm+6n$ são requeridas para determinar a medida sintética de todos os objetos da hierarquia;

iii. Para comparar as medidas sintéticas, $n(n - 1)$ multiplicações são necessárias em cada matriz. Ao considerar todos os objetos da hierarquia envolvidos nas duas iterações, totalizam-se $nm(n - 1) + n(n - 1)$ multiplicações;

iv. Na equação 33, n multiplicações são necessárias na normalização dos valores de $V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_n)$ de cada matriz. Portanto, $n(m + 1)$ multiplicações são requeridas no total;

v. Finalmente, nm multiplicações são necessárias para ponderar o desempenho dos fornecedores usando os autovetores obtidos.

Portanto, o valor de T'_{nm} no *fuzzy* AHP é definido pela expressão 123.

$$\begin{aligned} T'_{nm} &= 4mn + 4n + 6nm + 6n + nm * (n - 1) + n * (n - 1) + n(m + 1) + nm = \\ &= n[n(m + 1) + 11m + 10] \end{aligned} \quad (123)$$

Visando avaliar a diferença entre a complexidade dos métodos, a Figura 32 apresenta um gráfico que contrasta os valores de T_{nm} em diferentes cenários de seleção de fornecedores. A partir da análise desse gráfico, nota-se se que embora o desempenho dos métodos seja similar, na maioria dos cenários o algoritmo do *fuzzy* TOPSIS é mais eficiente computacionalmente que o do método *fuzzy* AHP. Dentre os 64 cenários avaliados, o *fuzzy* AHP apresenta um desempenho computacional melhor que o *fuzzy* TOPSIS em 21 desses: cenários $T'_{22}, T'_{23}, T'_{24}, T'_{25}, T'_{26}, T'_{27}, T'_{28}, T'_{29}, T'_{34}, T'_{35}, T'_{36}, T'_{37}, T'_{38}, T'_{39}, T'_{45}, T'_{46}, T'_{47}, T'_{48}, T'_{49}, T'_{58}$ e T'_{59} . Já o *fuzzy* TOPSIS apresentou melhor desempenho que o *fuzzy* AHP em 43 cenários. Desta forma, principalmente nos cenários em que o número de fornecedores avaliados é médio a alto (entre 4 e 9) e que o número de critérios também é médio a alto, o desempenho do *fuzzy* TOPSIS é melhor.

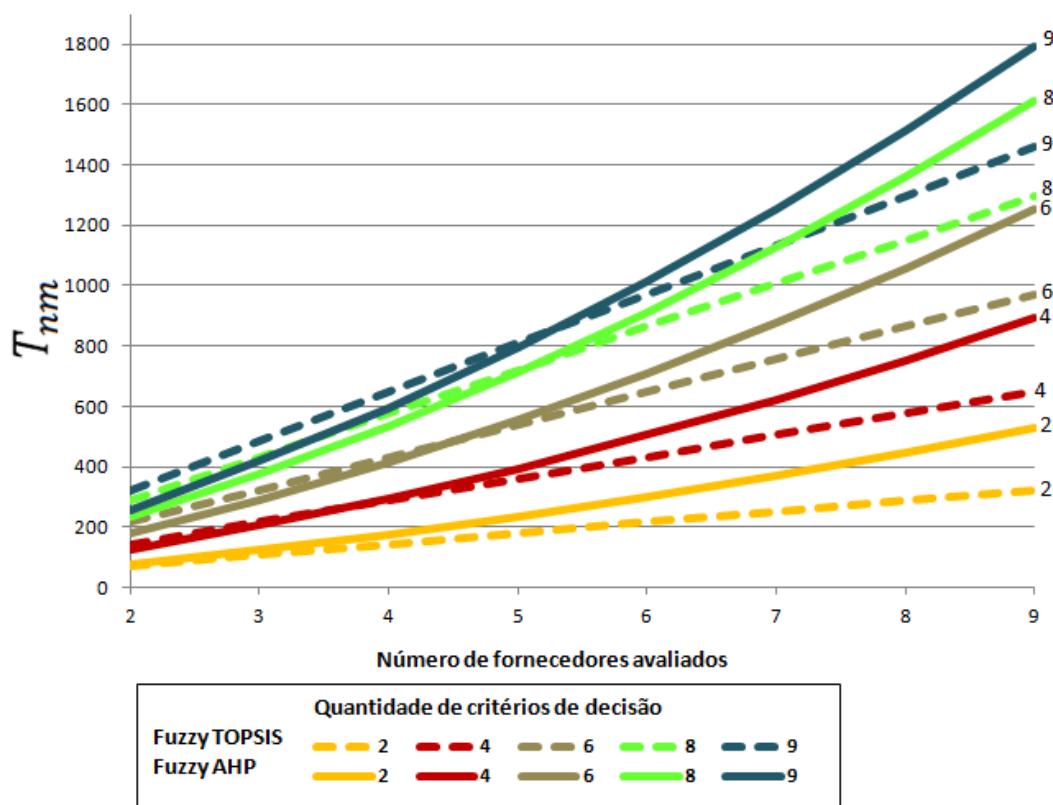


Figura 32 Comparação da complexidade computacional dos métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP

Portanto, a partir da aplicação do método de Chang (1996), considerando os critérios de medição de complexidade adotados, verificou-se que ambos os métodos possuem desempenho computacional similar, porém o *fuzzy* TOPSIS possui menor complexidade de tempo na maioria dos cenários de seleção de fornecedores. Conclui-se assim que o *fuzzy* TOPSIS é mais eficiente quanto à complexidade computacional que o *fuzzy* AHP.

6.8 ADEQUAÇÃO À TOMADA DE DECISÃO SOB INCERTEZA

Especialmente em situações de compra pela primeira e de recompra modificada, a inexistência de negociações anteriores faz com que não existam informações suficientemente completas sobre o desempenho de potenciais fornecedores. Como as estimativas coletadas durante a avaliação de fornecedores são imprecisas, essas devem ser representadas como valores aproximados.

Tanto o *fuzzy* AHP quanto o *fuzzy* TOPSIS são capazes lidar com a modelagem de informações imprecisas por utilizarem números *fuzzy* para quantificar os julgamentos obtidos junto a especialistas. Em ambos os métodos, a morfologia dos números *fuzzy* é a principal responsável por quantificar a imprecisão inerente aos valores obtidos.

Assim como mostrado nos casos ilustrativo de aplicação dos métodos (Capítulo 5), os números *fuzzy* podem ser usados na modelagem de escalas linguísticas compostas de adjetivos que definem níveis de gradação. Além disso, esses podem ser utilizados para representar valores de julgamento aproximados. Por exemplo, na Figura 33, os números *fuzzy* representados em (a) e (b) ilustram um valor de julgamento do tipo “em torno de 5”. Nestas figuras, os triângulos laterais hachurados representam intervalos numéricos em que o nível de certeza sobre os valores varia continuamente, sendo seu valor quantificado por $\mu(x)$. Como o ângulo β é maior que o ângulo α , observa-se que o valor representado em (a) é mais impreciso que em (b).

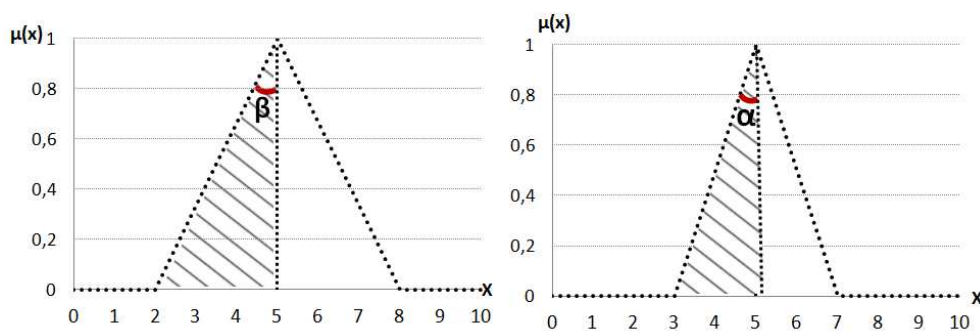


Figura 33 Representação de julgamentos imprecisos usando números *fuzzy*

Outros tipos de estimativas imprecisas também podem ser modeladas usando números *fuzzy*. Por exemplo, a Figura 34 representa uma estimativa linguística do tipo “entre 4 e 6”. Neste caso, a área hachurada se refere a um intervalo *fuzzy* cujo nível de certeza sobre os valores é contínuo.

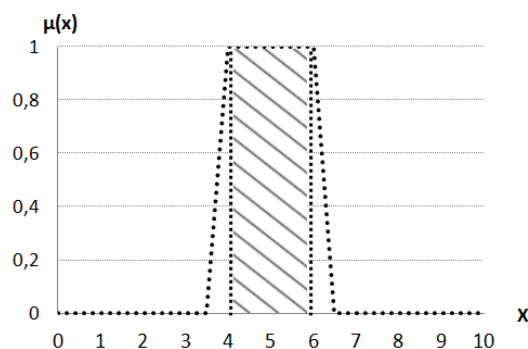


Figura 34 Representação de julgamentos aproximados usando números *fuzzy*

Outro mecanismo que visa tratar a imprecisão nas preferências dos especialistas é o uso de comparações pareadas. Nas comparações do *fuzzy* AHP, valores linguísticos são usados para exprimir o quão mais importante e/ou favorável é um elemento quando comparado em relação aos demais. Esta sistematização da coleta de julgamentos permite “enxergar” os fornecedores de diferentes perspectivas de avaliação e construir estimativas de preferências relativas com base em poucas informações.

Portanto, por utilizar os mecanismos apresentados, o *fuzzy* AHP e o *fuzzy* TOPSIS possibilitam tomar decisões apoiando-se essencialmente na experiência e na intuição do tomador de decisão, sem requerer registros históricos de fornecedores. Desta forma, conclui-se que ambos os métodos se mostram capazes de lidar com a modelagem de imprecisão nas informações em situações de tomada de decisão sob incerteza.

Outro tipo de incerteza que necessita ser modelado na seleção de fornecedores é a subjetividade, uma vez que esta afeta qualquer processo de tomada de decisão que envolva o levantamento de informações junto a especialistas, fazendo com que o resultado da decisão seja influenciado pela experiência, pela intuição, por sua área funcional na empresa e por memórias recentes dos entrevistados (ZIMMERMANN, 1991).

Um complicador relacionado à subjetividade é o significado que os termos linguísticos usados na avaliação de fornecedores possuem para cada especialista consultado. Tradicionalmente, a modelagem de problemas de decisão multicritério não considera que, na prática, as faixas de valores *fuzzy* correspondentes a cada termo linguístico devem ser modelados segundo a subjetividade de cada tomador de decisão, levando em conta seu rigor de avaliação e sua perspectiva de desempenho conforme sua área de atuação na empresa. Por

exemplo, se um fornecedor apresenta desempenho de “8.5” no critério desempenho ambiental, este pode ser considerado “muito alto” por um especialista da área. Todavia, um desempenho de “8.5” em qualidade do produto provavelmente será considerado “alto” por outro especialista, devido ao nível de desempenho que este tomador de decisão espera dos fornecedores neste critério.

Desta forma, assim ilustra a Figura 35, para lidar apropriadamente com a subjetividade dos tomadores de decisão, a morfologia das funções de pertinência *fuzzy* referentes a cada termo linguístico ao longo do eixo X deve obedecer à visão individual de cada um dos especialistas participantes da decisão. Na Figura 35 são ilustrados dois exemplos de escalas de avaliação linguística modelados de acordo a subjetividade de dois tomadores de decisão. Enquanto o tomador de decisão em (a) é mais rigoroso na avaliação de fornecedores, o tomador de decisão (b) é menos rigoroso e se contenta integralmente quando os fornecedores alcançam cerca de 90% de desempenho em um dado critério. Ilustrando o exemplo do parágrafo anterior, o valor de desempenho “8.5” é considerado “alto” pelo primeiro tomador de decisão em (a) e “muito alto” pelo segundo tomador de decisão em (b).

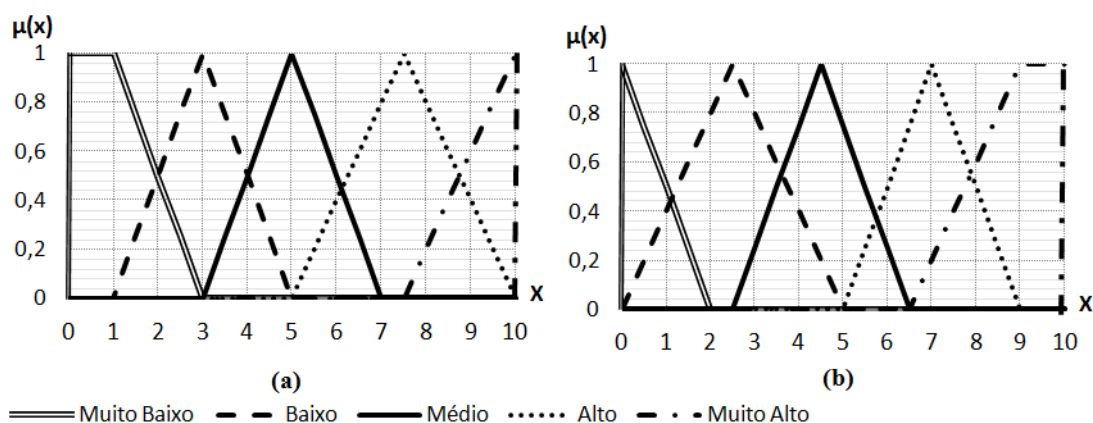


Figura 35 Exemplo de escala linguística considerando a subjetividade dos tomadores de decisão

A partir dos exemplos apresentados, verifica-se que durante a parametrização de modelos *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS, especificamente na definição de valores das escalas de avaliação linguística, o processo de atribuição de valores *crisp* aos pontos mais baixo, médio(s) e mais alto dos números *fuzzy* permite modelar a subjetividade inerente a cada tomador de decisão. Além de modelar aspectos inerentes à subjetividade dos tomadores de decisão, este mecanismo de parametrização deve ser usado para definir as faixas de valores *fuzzy* respeitando o significado linguístico que cada termo possui de acordo com o critério de decisão avaliado.

Diante do exposto, verifica-se que uma avaliação de fornecedores mais precisa pode ser feita usando múltiplas escalas linguísticas, permitindo assim ajustar os termos linguísticos considerando aspectos relativos à subjetividade de cada tomador de decisão e à cada critério avaliado. Para isso é necessário ajustar uma quantidade maior de parâmetros dos números *fuzzy* correspondentes aos termos linguísticos, fazendo com que maior esforço seja requerido na fase de parametrização do modelo. A Figura 36 contrasta as quantidades de parâmetros que necessitam ser ajustados no *fuzzy* TOPSIS e no *fuzzy* AHP por cada tomador de decisão na abordagem de modelagem tradicional (usando uma escala única para avaliar todos os critérios de decisão) e na abordagem sugerida, utilizando uma escala para cada critério.

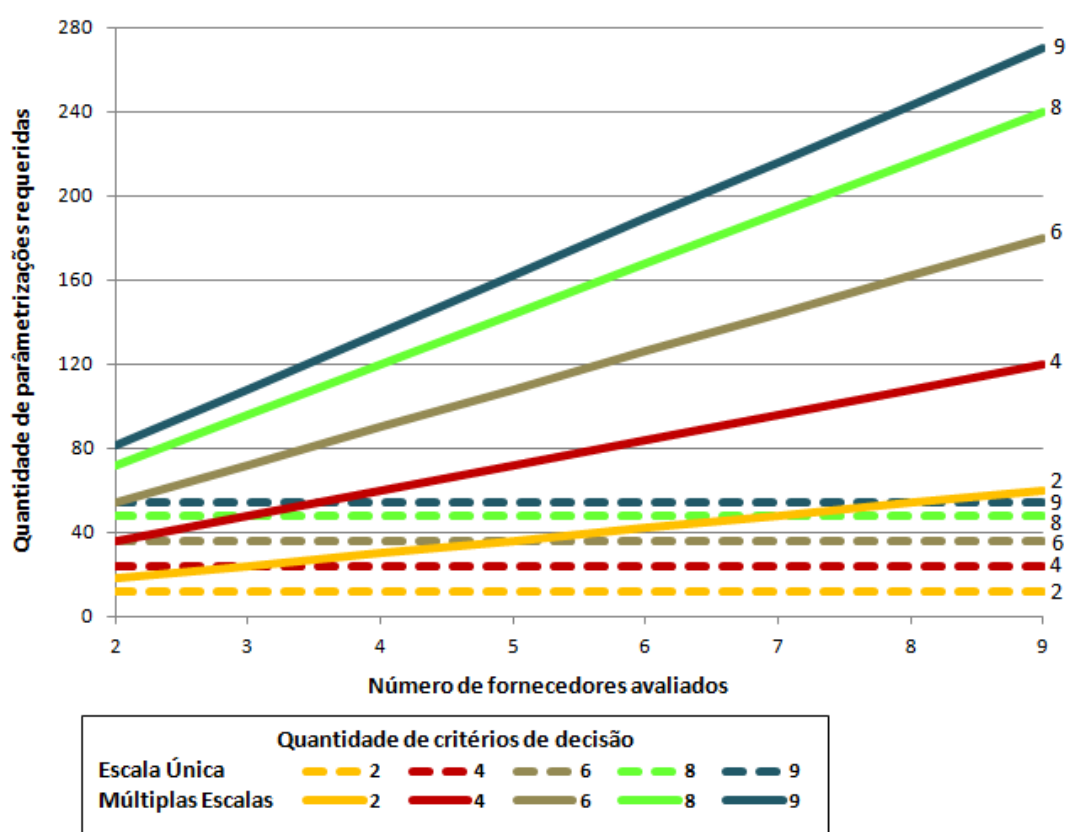


Figura 36 Parametrizações requeridas na modelagem de escalas linguísticas de avaliação

Nos modelos construídos nesta pesquisa, usando uma única escala para avaliar todos os critérios, foi necessário definir 30 parâmetros na modelagem das escalas do *fuzzy* TOPSIS e 30 parâmetros nas escalas do *fuzzy* AHP. Para construir escalas individuais para cada critério usando a mesma quantidade de termos linguísticos, seria necessário definir 90 parâmetros em cada método.

Diante do contraste considerável na quantidade de parametrizações requeridas por cada método, a escolha por utilizar uma única escala para medir todos os critérios ou utilizar escalas individuais depende da disponibilidade dos especialistas, e não implica em mudança

nos procedimentos de cálculos usados em ambos os métodos. Seja por questões de simplificação ou de agilidade, todos os modelos encontrados na literatura usam uma mesma escala para avaliar o desempenho dos fornecedores em relação a todos os critérios de decisão. A única exceção é o modelo para seleção de fornecedores baseado em sistemas de inferência *fuzzy* proposto por Lima Junior e Carpinetti (2012), que utiliza uma escala diferente para cada critério de decisão adotado.

Em síntese, o *fuzzy* TOPSIS e o *fuzzy* AHP se mostram adequados para apoiar a modelagem de imprecisão e de subjetividade em situações de tomada de decisão sob incerteza. No *fuzzy* AHP, o uso de comparações par a par auxilia no julgamento dos fornecedores sob ausência de informação. Em ambos os métodos, a imprecisão pode ser apropriadamente modelada devido à flexibilidade dos números *fuzzy*. A flexibilidade dos números *fuzzy* também permite modelar escalas linguísticas incorporando a subjetividade do tomador de decisão e as particularidades de cada critério de decisão avaliado.

6.9 SÍNTESE DA COMPARAÇÃO

O Quadro 50 apresenta resumidamente os resultados obtidos por meio da comparação entre os métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP, destacando em quais fatores de avaliação cada método obteve um desempenho satisfatório ou melhor que o outro.

Os resultados da comparação entre os métodos *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS mostraram que ambos os métodos são adequados para lidar decisões em grupo e em situações de incerteza. Utilizando como referência o modelo de seleção de fornecedores proposto por De Boer, Labro e Morlacchi (2001), verificou-se que ambos os métodos não são adequados para apoiar a etapa de qualificação de fornecedores e que somente *fuzzy* TOPSIS é adequado para lidar com a ordenação de fornecedores na etapa de escolha final.

A maioria dos modelos teóricos encontrados na literatura modela a seleção de fornecedores como um simples problema de ordenação, e por isso esses modelos só exploram a capacidade dos métodos de fornecer valores ordinais para as alternativas. A obtenção de valores cardinais que representem o desempenho real dos fornecedores é essencial para realizar a qualificação de fornecedores, o monitoramento contínuo do desempenho dos fornecedores e também pode ser útil para fornecer uma medida de *benchmarking* como *feedback* para melhoria (WU, BARNES, 2011), permitindo que cada fornecedor compare o distanciamento do seu desempenho global com os demais avaliados. Desta forma, o foco dos

modelos teóricos na ordenação de fornecedores implica ao mesmo tempo na simplificação do processo de modelagem e no distanciamento de situações reais de fornecedores.

Quadro 50 Síntese dos resultados da comparação entre os métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP

Parâmetros de comparação	Fatores considerados na avaliação comparativa		<i>Fuzzy</i> TOPSIS	<i>Fuzzy</i> AHP	
Decisão em grupo	Participação de vários especialistas		Adequado	Adequado	
	Ponderação da opinião de especialistas		-	-	
Interação com o usuário	Cenários com 2 fornecedores e 2, 3 ou 4 critérios		-	Preferível	
	Cenários com 3 fornecedores e 2 critérios		-	Preferível	
	Demais cenários		Preferível	-	
Situações de Compra	Compra pela primeira vez		Preferível	-	
	Recompra modificada (para substituir fornecedor)		-	Preferível	
	Recompra modificada (para estabelecer novos contratos)		Preferível	-	
	Recompra de itens de rotina, de itens estratégicos e itens de gargalo (para monitorar o desempenho de fornecedores)	Avaliação de indicadores financeiros e não-financeiros		Adequado	Adequado
		Atribuição de responsabilidades		Adequado	Adequado
		Modelagem hierárquica de indicadores		-	Preferível
		Aproveitamento de registros históricos		Preferível	-
Atualização do sistema de medição		Preferível	-		
Adequação à qualificação	Capacidade de lidar com problemas de seleção		-	-	
Adequação à escolha final	Capacidade de lidar com problemas de ordenação com critérios compensatórios		Adequado	-	
	Capacidade de tratar adequadamente problemas de alocação de pedidos		-	-	
Complexidade computacional	Complexidade de tempo		Menor	-	
Capacidade de modelar incertezas	Imprecisão nos dados		Adequado	Adequado	
	Subjetividade dos especialistas		Adequado	Adequado	

Em relação à capacidade de modelar diferentes situações de compra, à complexidade computacional e à quantidade de interação requerida com o usuário, o *fuzzy* TOPSIS também apresentou melhor desempenho que o *fuzzy* AHP. Isso se deve principalmente a algumas características do AHP que no contexto de seleção de fornecedores se mostram como limitações, tais como a coleta de julgamentos por meio da comparação par a par, o uso do operador não compensatório “MIN” para a agregação de valores de desempenho, o fornecimento de um *ranking* de preferências relativas e a limitação na quantidade de alternativas avaliadas. Apesar disso, o *fuzzy* AHP possui a vantagem de utilizar uma hierarquia para modelar problemas de decisão, e isso é bastante desejável em diversos problemas que envolvem tomada de decisão e medição de desempenho.

Apesar de não satisfazer a alguns requisitos do processo decisório de seleção de fornecedores, o *fuzzy* TOPSIS e o *fuzzy* AHP podem ser readequados em alguns aspectos a partir da adoção das sugestões propostas por este estudo. Utilizando algumas adaptações sugeridas, ambos os métodos podem lidar com a subjetividade e com a ponderação da opinião de especialistas. Além disso, as adaptações sugeridas podem permitir que o *fuzzy* TOPSIS

resolva problemas de seleção apropriadamente e que o *fuzzy* AHP resolva adequadamente problemas de ordenação compensatórios.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

7.1 CONCLUSÃO

A seleção de fornecedores é uma das decisões mais críticas das organizações industriais, uma vez que seus resultados tem o potencial de afetar o custo final dos produtos e a gestão da qualidade do sistema de manufatura do comprador. A seleção de fornecedores também possui um papel estratégico importante para as empresas, uma vez que fazer avaliações preliminares sobre o potencial fornecedores de estabelecer práticas colaborativas junto ao comprador. Desta forma, processos de seleção de fornecedores bem estruturados tem a capacidade de impactar positivamente no desempenho da organização e na gestão de relacionamentos na cadeia de suprimentos.

Para usufruir de tais benefícios, a empresa deve investir esforços coletivos na formulação dos critérios de seleção de fornecedores. Há grande diversidade de medidas que podem ser usadas para isso. Como o conjunto de critérios de decisão adotado transmite o que a empresa espera de seus fornecedores, o resultado final da composição da base de fornecedores depende mais dos aspectos que se escolhe avaliar do que necessariamente de características do fornecedor. Portanto, a formulação de critérios de decisão é uma atividade crítica que é extremamente importante e pode servir como oportunidade para estimular a integração entre diferentes funções na gestão estratégica da empresa.

Diante da complexidade inerente à seleção de fornecedores e da dificuldade de se avaliar alguns critérios de decisão, o uso de métodos multicritério é grande valor por promover processos racionais de tomada de decisão. Existem dezenas de técnicas de diversos tipos que vem sendo exploradas para lidar com esse problema na forma simples e/ou combinada. Apesar da grande quantidade de modelos teóricos existentes, ainda existem muitas possibilidades de combinação entre técnicas a serem exploradas em diferentes contextos de uso. Estudos comparativos são relevantes por permitirem avaliar a adequação destes métodos no apoio às decisões de seleção de fornecedores e de outros contextos de

problemas específicos (como seleção de localização, seleção de *software*, seleção de pessoal, seleção de máquinas, entre outros).

Esta pesquisa apresentou uma comparação entre os métodos de apoio à tomada de decisão *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP considerando as características do contexto de seleção de fornecedores. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre aspectos relevantes à seleção de fornecedores, critérios de seleção de fornecedores, métodos multicritério de tomada de decisão e estudos comparativos entre estes métodos. Também foi realizado um mapeamento sobre o uso de técnicas quantitativas no apoio às decisões de seleção de fornecedores. A ampla revisão da bibliográfica foi essencial para traçar os objetivos e as etapas metodológicas desta pesquisa.

A realização de simulações computacionais de cenários reais e fictícios de seleção de fornecedores permitiu identificar características dos métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP. Isso possibilitou analisar a adequação desses métodos no apoio à seleção de fornecedores considerando 7 parâmetros de comparação. A partir da identificação de algumas limitações, foram sugeridas adaptações visando melhorar o desempenho métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP neste contexto de uso.

Na maioria das avaliações comparativas realizadas nesta pesquisa, o *fuzzy* TOPSIS se mostrou mais adequado que o *fuzzy* AHP. Apesar disso, não se pode afirmar que o *fuzzy* TOPSIS é um método melhor que o *fuzzy* AHP, salvo que o recorte desta pesquisa considerou as peculiaridades do contexto de seleção de fornecedores e focou na abordagem *fuzzy* TOPSIS proposta por Chen (2000) e no *fuzzy* AHP proposto por Chang (1996). Desta forma, é possível que novos estudos comparativos que considerem o contexto de outros domínios de problema e avaliem outras abordagens de combinação *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP forneçam resultados diferentes dos obtidos nesta pesquisa.

Diante das discussões apresentadas, verifica-se que os objetivos propostos nesta pesquisa foram plenamente alcançados. Dentre os principais resultados obtidos, estão algumas contribuições teóricas para a literatura deste tema. A principal delas é uma comparação entre dois métodos MCDM amplamente usados na seleção de fornecedores, que é útil para ajudar pesquisadores a escolher métodos MCDM de acordo com as peculiaridades do problema em questão. Outras contribuições desta pesquisa para a literatura deste tema são o mapeamento do uso de métodos multicritério para seleção de fornecedores, a demonstração da aplicação dos métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP em um caso ilustrativo e um conjunto de códigos de implementação do *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP desenvolvido em linguagem de programação MATLAB[®].

Atualmente, existe uma tendência mundial de exploração da lógica *fuzzy* no tratamento de problemas com variáveis qualitativas e fatores intangíveis. Ainda assim, há pouquíssimas pesquisas no Brasil que explorem o uso de lógica *fuzzy* na resolução de problemas de gestão de operações. Uma evidência disso é que, durante as buscas realizadas, não foram encontrados estudos em língua portuguesa que contemplem a aplicação dos métodos *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS em problemas de decisão. Diante disso, espera-se que este trabalho possa ser de grande valor para a comunidade de pesquisadores e estudantes brasileiros interessados neste tema e que as discussões apresentadas nesta pesquisa e nos artigos relacionados (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2013; LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2012; LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2012; LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI; GANGA, 2012; OSIRO; LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2012; LIMA JUNIOR; CARPINETTI; OSIRO, 2011) contribuam para a disseminação de conhecimentos sobre lógica *fuzzy*, seleção de fornecedores e sobre a escolha, modelagem e uso de métodos multicritério.

7.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS

As principais dificuldades encontradas durante a realização desta pesquisa foram as seguintes:

- **Ausência de literatura didática sobre os métodos comparados:** Durante a etapa de estudo dos métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP, não foram encontradas fontes de material didático que facilitassem o entendimento desses e a implementação de modelos de simulação, tais como apostilas, demonstrações com exemplos detalhados, pseudo-códigos e algoritmos implementados. Por causa disso, foram utilizado somente artigos de periódicos internacionais, que são bastante enxutos e não explicam em detalhes o comportamento das equações, fazendo com que muito tempo fosse investido no estudo dos métodos e na implementação computacional e testes dos modelos;

- **Falta de interesse e disponibilidade das empresas contatadas para participar da pesquisa:** Outra dificuldade encontrada foi a de selecionar uma empresa para realizar a pesquisa de campo. Após tentar contatar uma empresa na cidade de Sertãozinho-SP por dois meses e não obter resposta, optou-se por convidar uma empresa da cidade de São Carlos. Um representante da empresa contatada aceitou imediatamente a participação na pesquisa. Durante uma reunião com este especialista, foi combinado que 5 profissionais da empresa

responderiam aos questionários de coleta de dados (2 da função de compras, 2 de qualidade e 1 de logística). Contudo, devido a mudanças internas na empresa (realocação de funcionários, demissão do chefe do setor de compras e mudanças na diretoria da empresa, entre outros), os questionários foram respondidos por um especialista da empresa somente dois meses após a realização do convite. Isso impediu demonstrar o uso dos modelos *fuzzy* TOPSIS *fuzzy* AHP em uma situação real de decisão em grupo e também provocou atrasos no cumprimento do cronograma desta pesquisa.

7.3 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A partir da realização desta pesquisa, foi possível apontar algumas sugestões para trabalhos futuros, tais como:

i. Comparar o método AHP com o *fuzzy* AHP: A partir dos resultados obtidos na comparação entre os métodos *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS, verificou-se que o *fuzzy* AHP possui diversas limitações no apoio às decisões de seleção de fornecedores. A mais questionável delas é o uso de um operador de agregação de preferências não compensatório na resolução de um problema de ordenação baseado em critérios compensatórios. Mesmo sendo um método mais complexo que o AHP, *fuzzy* AHP vem sendo preferencialmente adotado em estudos publicados em periódicos de alta relevância. Diante disso, sugere-se a realização de uma comparação entre os métodos AHP e *fuzzy* AHP que questione se a adaptação do *fuzzy* AHP proposto por Chang (1996) realmente traz melhorias para o método AHP de Saaty (1980) na resolução de problemas que envolvem fatores qualitativos e situações de decisão sob incerteza;

ii. Comparar os métodos *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP com sistemas de inferência *fuzzy*: Analisando a literatura deste tema de pesquisa, verificou-se que não há estudos que apontem as vantagens de se utilizar métodos MCDM baseados em operações algébricas *fuzzy* ao invés de métodos baseados em operações lógicas (usando operadores T-Norma e S-Norma). O processo de modelagem e parametrização de ambas as abordagens também distingue-se bastante. Portanto, sugere-se a realização de estudos comparativos envolvendo sistemas de inferência *fuzzy* e os métodos *fuzzy* TOPSIS e/ou *fuzzy* AHP;

iii. Desenvolver modelos de seleção de fornecedores combinando métodos *fuzzy* multiatributo com métodos *fuzzy* multiobjetivo: Os resultados da comparação mostraram que o nem o *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP são completamente adequados para apoiar as

decisões da última etapa do processo de seleção de fornecedores (escolha final), pois estes não são apropriados para modelar a distribuição de cotas de pedidos entre fornecedores selecionados. Diante das peculiaridades do processo de seleção de fornecedores, um modelo completo deve combinar métodos multiatributo (como *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS) na seleção e ordenação de fornecedores, e métodos multiobjetivo (como métodos de programação matemática e programação multiobjetivo) na distribuição de cotas de pedidos entre fornecedores. Na literatura específica, poucos estudos exploraram a combinação destes métodos para lidar adequadamente com as diferentes etapas do processo de seleção de fornecedores. Desta forma, sugere-se desenvolver modelos de decisão que combinem métodos multiatributo *fuzzy* com métodos *fuzzy* multiobjetivo visando obter uma solução mais completa, capaz de apoiar de forma integrada e apropriada as diferentes etapas da seleção de fornecedores;

iv. Construir modelos para monitoramento de desempenho de fornecedores usando métodos multicritério: Analisando a literatura relacionada, verificou-se que o desenvolvimento de modelos multicritério voltados para o monitoramento de desempenho de fornecedores vem sendo pouco explorado. Como em situações de monitoramento de desempenho de fornecedores já existe um histórico de informações sobre os fornecedores, é interessante avaliar se métodos MCDM voltados para situações de incerteza apresentam um desempenho melhor que métodos determinísticos quando usados neste problema. Outro ponto importante a ser explorado é a formulação de indicadores para monitoramento de desempenho de fornecedores, uma vez que estas medidas de avaliação costumam ser diferentes dos critérios de decisão usados na seleção de fornecedores;

v. Desenvolver um modelo *fuzzy* TOPSIS adaptado: A partir de limitações identificadas no método *fuzzy* TOPSIS proposto por Chen (2000), foram sugeridas adaptações para melhor adequação do método no apoio à qualificação de fornecedores e à tomada de decisão em grupo (subseção 6.4). Tais modificações podem permitir ao método *fuzzy* TOPSIS não só o tratamento adequado de problemas de ordenação, mas também a capacidade de lidar com a modelagem de problemas de seleção. Para avaliar a aplicabilidade destas sugestões, sugere-se que pesquisas futuras desenvolvam um modelo *fuzzy* TOPSIS que as incorpore e compare os resultados obtidos com outras abordagens *fuzzy* TOPSIS;

vi. Avaliar o uso de operadores compensatórios no *fuzzy* AHP: Dadas as limitações do método *fuzzy* AHP na resolução de problemas com critérios compensatórios, sugere-se o desenvolvimento de novas abordagens *fuzzy* AHP que sejam melhor adequadas para lidar com problemas de ordenação. Uma alternativa é explorar a substituição do operador “MIN” na por

diferentes operadores de agregação e verificar empiricamente a consistência das soluções obtidas. Desta forma, recomenda-se a realização de um estudo mais aprofundado sobre o tema.

vii. Comparar abordagens de modelagem de escalas linguísticas: Conforme discutido na subseção 6.8 a maioria dos modelos de decisão *fuzzy* encontrados na literatura usem uma mesma escala linguística para avaliar os fornecedores em relação a critérios bem diferentes entre si, sem considerar o significado dos termos linguísticos dentro do domínio de cada variável e a inerente subjetividade inerente aos julgamentos de cada especialista. Diante disso, sugere-se a realização de pesquisas empíricas que avaliem se o uso uma escala individual para cada critério de seleção de fornecedores apresenta resultados mais coerentes com a realidade que o uso de uma escala única para todos os critérios.

REFERÊNCIAS

- AGUEZZOL, A.; LADET, P. A nonlinear multiobjective approach for the supplier selection, integrating transportation policies. **Journal of Modelling in Management**, v.2, p. 157-169, 2007.
- AISSAOUI, N.; HAOUARI, M.; HASSINI, E. Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. **Computers & Operations Research**, v. 34, p.3516 – 3540, 2007.
- AKSOY, A.; ÖZTÜRK, N. Supplier selection and performance evaluation in just-in-time production environments. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 6351–6359, 2011.
- ALBINO, V.; GARAVELLI, A. C. A neural network application to subcontractor rating in construction. **International Journal of Project Management**, v. 16, p. 9-14, 1998.
- ALENCAR, L. H.; ALMEIDA, A. T. Suppliers Selection based on Multicriteria Group Decision Model. In: GDN (Group Decision and Negotiation), Delft. **Proceedings GDN (Group Decision and Negotiation)**, 2010.
- ALTROCK, C. V. **Fuzzy Logic and Neurofuzzy - Applications in Business and Finance**. 1 ed. Prentice Hall: USA, 1995.
- AMBROSE, E.; MARSHALL, D.; FYNES, B.; LYNCH, D. Communication media selection in buyer-supplier relationships. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 28, p. 360-379, 2008.
- AMID, A. A.; GHODSYPOUR, S. H.; BRIEN, C. O. Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in supply chain. **International Journal of Production Economics**, v.104, p. 394–407, 2008.
- AMID, A., GHODSYPOUR, S. H.; BRIEN, C. O. A weighted max–min model for fuzzy multi-objective supplier selection in a supply chain. **International Journal of Production Economics**, v.131, p. 139–145, 2011.
- AMIN, S. H., RAZMI, J.; ZHANG, G. Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 334–342, 2011.
- AMIN, S. H.; RAZMI, J. An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation. **Expert Systems with Applications**, v.36, p. 8639–8648, 2009.
- ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional – Métodos e modelos para tomada de decisão**. 1 ed. LTC: Rio de Janeiro, 1998.
- ARAZ, C.; OZFIAT, P. M.; OZKARAHAN, I. An integrated multicriteria decision-making methodology for outsourcing management. **Computers & Operations Research**, v.34, p. 3738 – 3756, 2007.
- ARAZ, C.; OZKARAHAN, I. Supplier evaluation and management system for strategic sourcing based on a new multicriteria sorting procedure. **International Journal of Production Economics**, v.106, p. 585–606, 2007.
- AWASTHI, A.; CHAUHAN, S. S.; GOYAL, S. K. A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. **International Journal of Production Economics**, v. 126, n. 2, p. 370-378, 2010.
- BARLA, S. B. A case study of supplier selection for lean supply by using a mathematical model. **Logistics Information Management**, v.16, p. 451-459, 2003.
- BARROS; L. C.; BASSANEZI, E.R. **Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática**. Editora do IMECC-UNICAMP: Campinas, 2006.
- BEAMON, B. M. Measuring Supply Chain Performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, p. 275-292, 1999.
- BENAYOUN, R.; ROY, B.; SUSSMAN, B. ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. **Note de travail n. 49, SEMAMETRA International, Direction Scientifique, 1996**.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p.241-264, 2002.
- BEVILACQUA, M; CIARAPICA, F.E.; GIACCHETTA, G. A fuzzy-QFD approach to supplier selection. **Journal of Purchasing & Supply Management**, v.12, p. 14-27, 2006.
- BHATTACHARYA, A.; GERAGHTY, J.; YOUNG, P. Supplier selection paradigm: An integrated hierarchical QFD methodology under multiple-criteria environment. **Applied Soft Computing**, v.10, p. 1013–1027, 2010.
- BHUTTA, K. S.; HUQ, F. Supplier selection problem: a comparison of the Total Cost Ownership and Analytic Hierarchy Process approaches. **Supply Chain Management**, v. 7, pp. 126-135, 2002.

- BITITCI, U. S.; MENDIBIL, K.; NUDURUPATI, S.; GARENGO, P.; TURNER, T. Dynamics of performance measurement and organizational culture. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 26, p. 1325-1350, 2006.
- BORAN, F. E., GENÇ, S.; KURT, M.; AKAY, D. A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. **Expert Systems with Applications**, v.36, p. 11363–11368, 2009.
- BOTTANI, E.; RIZZI, A. A fuzzy TOPSIS methodology to support outsourcing of logistics services. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 11, n. 4, p.294 – 308, 2006.
- BOTTANI, E.; RIZZI, A. An adapted multi-criteria approach to suppliers and products selection—An application oriented to lead-time reduction. **International Journal of Production Economics**, v.111, p. 763–781, 2008.
- BOUYSSOU, D.; JACQUET-LAGRÈZE, E.; PERNY, P.; SLOWINSKI, R.; VANDERPOOTEN, D.; VINCKE, P. **Aiding Decisions with Multiple Criteria**. Kluwer Academic Publishers: USA: 2002.
- BRAZ, R. G. F.; SCAVARDA, L. F.; MARTINS, R. A. Reviewing and improving performance measurement systems: An action research. **International Journal Production Economics**, v. 133, p. 751-760, 2011.
- BÜYÜKÖZKAN, G., ERSOY, M.S. Applying Fuzzy Decision Making Approach to IT Outsourcing Supplier Selection. **Engineering and Technology**, v. 55, p. 411-415, 2009.
- BÜYÜKÖZKAN, G.; ÇİFÇİ, G. A novel fuzzy multi-criteria decision framework for sustainable supplier selection with incomplete information. **Computers in Industry**, v.62, p. 164–174, 2011.
- CASTRO, W. A. S.; GOMEZ, O. D. C.; FRANCO, L. F. O. Selección de proveedores: una aproximación al estado del arte. **Cuaderno de Administración - Bogotá (Colombia)**, , v. 22, p. 145- 167, 2009.
- ÇEBİ, F.; BAYRAKTAR, D. An integrated approach for supplier selection. **Logistics Information Management**, v.16, p. 395-400, 2003.
- ÇELEBİ, D.; BAYRAKTAR, D. An integrated neural network and data envelopment analysis for supplier evaluation under incomplete information. **Expert Systems with Applications**, v.35, p. 1698–1710, 2008.
- CELIKYLMAZ, A.; TÜRKSEN, I. B. **Modeling Uncertainty with Fuzzy Logic with recent theory and applications**. 1 ed. Springer: India, 2009.
- CHAMODRAKAS, I.; BATIS, D.; MARTAKOS, D. Supplier selection in electronic marketplaces using satisficing and fuzzy AHP. **Expert Systems with Applications**, v.37, p. 490–498, 2010.
- CHAN, F.T.S.; KUMAR, N. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. **Omega**, v.35, p. 417 – 431, 2007.
- CHAN, F.T.S.; TIWARI, M.K.; SHANKAR, R.; CHOY, K.L. B2B multi-attribute e-procurement: an artificial immune system based goal programming approach. **International Journal of Production Research**, v.49, p. 321–341, 2010.
- CHANG, B.; CHANG, C.; WU, C. Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 1850–1858, 2011.
- CHANG, B.; HUNG, H. A study of using RST to create the supplier selection model and decision-making rules. **Expert Systems with Applications**, v.37, p. 8284–8295, 2010.
- CHANG, D. Y. Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. **European Journal of Operational Research**, v. 95, p. 649-655, 1996.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, p. 429-444, 1978.
- CHE, Z. H.; WANG, H. S. Supplier selection and supply quantity allocation of common and non-common parts with multiple criteria under multiple products. **Computers & Industrial Engineering**, v.55, p. 110–133, 2008.
- CHEN, C. T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 114, p. 1–9, 2000.
- CHEN, C.; LIN, C.; HUANG, S. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection. **International Journal of Production Economics**, v.102, p. 289–301, 2006.
- CHEN, W. Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. **Information Sciences**, v.181, p. 1651–1670, 2011.

- CHOU, S. , 2Y. SHEN, C. Y.; CHANG, Y. H. Vendor Selection in a modified re-buy situation using a strategy-aligned fuzzy approach. **International Journal of Production Research**, v. 45, p. 3113-3133, 2007.
- CHOU, S.; CHANG, Y. A **decision support system for supplier selection based on a strategy-aligned fuzzy SMART approach**. *Expert Systems with Applications*, v.34, p. 2241–2253, 2008.
- CHOY, K. L.; LEE, W. B. A generic tool for selection and management of supplier relationship in a outsourced manufacturing environment: the application of case based reasoning. **Logistics Information Management**, v.15, p. 235-253, 2002.
- COLLINS, R.; BECHLER, K.; PIRES, S. Outsourcing in the Automotive Industry: From JIT to Modular Consortium. **European Management Journal**, v. 15, n. 5, p. 498-508.
- DAHIEL, N. Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments. **Supply Chain Management**, v.8, p. 335-342, 2003.
- DANTZIG, G. **Linear Programming and Extensions**. Princeton University Press: Princeton, 1963.
- DAS, D.; ROY, A.; KAR, S. Improving production policy for a deteriorating item under permissible delay in payments with stock-dependent demand rate. **Computers and Mathematics with Applications**, v.60, p. 1973-1985, 2010.
- DE BOER, L.; LABRO, E.; MORLACCHI, P. A review of methods supporting supplier selection. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 7, p. 75-89, 2001.
- DE BOER, L.; WEGEN, L. V. D.; TELGEN, J. Outranking methods in support of supplier selection. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 4, p. 109-118, 1998.
- DEGRAEVE, Z., LABRO, E., ROODHOOFT, F. **An evaluation of supplier selection methods from a total cost of ownership perspective**. *European Journal of Operational Research* V. 125, p. 34–58, 2000.
- DEMIRTAS, E. A.; USTUN, O. An integrated multiobjective decision making process for supplier selection and order allocation. **Omega**, v.36, p. 76 – 90, 2008.
- DERMITAS, E. A.; USTUN, O. Analytic network process and multi-period goal programming integration in purchasing decisions. **Computers & Industrial Engineering**, v.56, p. 677–690, 2009.
- DICKSON, G. W. An analysis of vendor selection systems and decisions. **Journal of Purchasing**, v. 2, p.5-17, 1966.
- DOGAN, I.; SAHIN, U. Supplier selection using activity-based costing and fuzzy presentworth techniques. **Logistics Information Management**, v.16, p. 420-426, 2003.
- DUMMING, R.; MINNINO, V. Supplier selection using a multi-criteria decision aid method. **Journal of Purchasing & Supply Management**, v.9, p. 177-187, 2003.
- EBRAHIM, R. M.; RAZMI, J.; HALEH, H. Scatter search algorithm for supplier selection and order lot sizing under multiple price discount environment. **Advances in Engineering Software**, v.40, p. 766–776, 2009.
- ERTUGRUL, I.; KARAKASOGLU, N. Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. **International Journal Advances Manufacturing Technology**, v. 39, p. 783-795, 2008.
- FARIS, C. W. ROBINSON, P. J.; WIND, Y. **Industrial Buying and Creative Marketing**. Allyn & Bacon: Boston, 1967.
- FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Criteria Decision Analysis**. 1ed. Springer Science: USA, 2005. 1085 p.
- FLOREZ-LOPEZ, R. Strategic supplier selection in the added-value perspective: A CI approach. **Information Sciences**, v.177, p. 1169–1179, 2007.
- FOERSTER J. F. Mode choice decision process models: A comparison of compensatory and non-compensatory structures. **Transport Research**, v. 13a, n. 1, p.17-28, 1979.
- FRÖDELL, M. Criteria for achieving efficient contractor-supplier relations. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 18, p. 381-393, 2011.
- GARFAMY, R. M. A data envelopment analysis approach based on total cost of ownership for supplier selection. **Journal of Enterprise Information**, v.6, p. 662-678, 2006.

- GENCER, C.; GÜRPINAR, D. Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. **Applied Mathematical Modelling**, v.31, p. 2475–2486, 2007.
- GOMES, L. F. A. M. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões**. 1 ed. Editora Campus: São Paulo, 2004. 384 p.
- GOMES, L. F. A. M.; MOREIRA, A. M. M. Da Informação à Tomada de Decisão: Agregando Valor Através dos Métodos Multicritério. **Revista de Ciência e Tecnologia (RECITEC)**, Recife, v.2, n.2, p.117-139, 1998.
- GONZÁLEZ, M. E. et al. Determining the importance of supplier selection process in manufacturing: a case study. **International Journal of Physical Distribution & logistics Management**, v. 34, p. 492-504, 2004.
- GUNASEKARAN, A.; PATEL, C.; TIRTIROGLU, E. Performance measures and metrics in a supply chain environment. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 21, n. 1-2, p. 71-87, 2001.
- GUNERI, A. F.; YUCEL, A.; AYYILDIZ, G. An integrated fuzzy-lp approach for a supplier selection problem in supply chain management. **Expert Systems with Applications**, v.36, p. 9223–9228, 2009.
- GUO, X.; YUAN, Z.; TIAN, B. Supplier selection based on hierarchical potential support vector machine. **Expert Systems with Applications**, v.36, p. 6978–6985, 2009.
- HA, B.; PARK, Y.; CHO, S. Suppliers' affective trust and trust in competency in buyer – Its effect on collaboration and logistics efficiency. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 31, pp. 56-77, 2011.
- HA, S. H.; KRISHNAN, R. A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain. **Expert Systems with Applications**, v. 34, p. 1303–1311, 2008.
- HADI-VENCHEH, A. A new nonlinear model for multiple criteria supplier selection problem. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v.24, p. 32–39, 2010.
- HALEH, H.; HAMIDI, A. A fuzzy MCDM model for allocating orders to suppliers in a supply chain under uncertainty over a multi-period time horizon. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 9076–9083, 2011.
- HAYES, R. H. et al. **Operations, Strategy and Technology: Pursuing the competitive edge**. John Willey & Sons: EUA, 2004.
- HINKLE, C.L.; ROBINSON, P.J.; GREEN, P.E. Vendor evaluation using cluster analysis. **Journal of Purchasing**, p. 49-58, 1969.
- 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.
- HOLLAND, J. H. Genetic Algorithms. **Scientific American**, v. 267, p. 44-50, 1992.
- HOLSAPPLE, C. W.; WHINSTON, A. B. **Decision Support Systems – A knowledge-based approach**. West Publishing Company, 1996. 713 p.
- HOU, J.; SU, D. Integration of Web Services technology with business models within. **Computers in Industry**, v.57, p. 797–808, 2006.
- HSU, B.; CHIANG, C.; SHU, M. Supplier selection using fuzzy quality data and their applications to touch screen. **Expert Systems with Applications**, v.37, p. 6192–6200, 2010.
- HSU, C.; HU, A. H. Applying hazardous substance management to supplier selection. **Journal of Cleaner Production**, v.17, p. 255–264, 2009.
- HWANG, C. L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications**. Springer-Verlag: Berlin (Alemanha), 1981.
- JABBOUR, A. B. L. S.; JABBOUR, C. J. C. Are supplier selection criteria going green? Case studies of companies in Brazil. **Industrial Management & Data Systems**, v. 109, n. 4, pp. 477-495, 2009.
- JOLAI, F. et al. Integrating fuzzy TOPSIS and multi-period goal programming for purchasing multiple products from multiple suppliers. **Journal of Purchasing & Supply Management**, v.17, p. 42–53, 2011.
- KAHRAMAN, C. (Org.) **Fuzzy Multicriteria Decision Making - Theory and Applications with Recent Developments**. 1 ed. Springer Science: Turkey, 2008.
- KAHRAMAN, C.; CEBECI, U.; ULUKAN, Z. Multi-criteria supplier selection using fuzzy. **Logistics Information Management**, v.16, p. 382-394, 2003.

- KANNAN, V. R.; TAN, K. C. Supplier selection and assessment: their impact on business performance. **Journal of Supply Chain Management**, v. 38, n. 4, p. 11-21, 2002.
- KANNAN, V. R.; VAN, K. C. Buyer-supplier relationships: The impact of supplier selection and buyer-supplier engagement on relationship and firm performance. **International Journal of Physical Distribution & Logistic Management**, v. 36, pp.755-775, 2006.
- KAPLAN, R.S.; NORTON, D.P. **The balanced scorecard – measures that drive performance**. Boston, *Harvard Business Review*, Jan.-Fev. p.71-79. 1992.
- KARA, S. S. Supplier selection with an integrated methodology in unknown environment. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 2133–2139, 2011.
- KATSIKEAS, C. C.; PAPAROIDAMIS, N. G.; KATSIKEA, E. Supply source selection criteria: the impact of supplier performance on distributor performance. **Industrial Marketing Management**, v. 33, n. 8, p. 755-764, 2004.
- KEEGAN,D.P., EILER, R.G.; JONES, C.R. Are your performance measures obsolete? **Management Accounting**, June, p.45-50, 1989.
- KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. **Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs**. New York: John Wiley & Sons, 1976.
- KESKIN, G. A.; ILHAN, S.; OZKAN, C. The Fuzzy ART algorithm: A categorization method for supplier evaluation and selection. **Expert Systems with Applications**, v.37, p. 1235–1240, 2010.
- KHELJANI, J. G.; GHODSYPOUR, G. H.; O'BRIEN, C. Optimizing whole supply chain benefit versus buyer's benefit through supplier selection. **International Journal of Production Economics**, v.121, p. 482–493, 2009.
- KILINCCI, O.; ONAL, S. A. Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 9656–9664, 2011.
- KILINCCI, O.; ONAL, S. Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company. **Expert Systems with Applications**, v. 38, p. 9656–9664, 2011.
- KINGSMAN, B. G. **Raw Materials Purchasing: an Operational Research**. Pergamon Press: Oxford, 1985.
- KIRYTOPOULOS, K. et al. Multiple sourcing strategies and order allocation: an ANP-AUGMECON meta-model. **Supply Chain Management: An International Journal**, v.15, p. 263–276, 2010.
- KIRYTOPOULOS, K.; LEOPOULOS, V.; VOULGARIDOU, D. Supplier selection in pharmaceutical industry. **Benchmarking: An International Journal**, v.15, p. 494-516, 2008.
- KITCHENHAM, B. A; CHARTERS, S. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews**. Software Engineering Technical Report EBSE-2007-01, 2007.
- KLIR, G. J. **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: theory and applications**. 1 ed. Prentice Hall: London, 1995.
- KOKANGUL, A.; SUSUZ, Z. Integrated analytical hierarch process and mathematical programming to supplier selection problem with quantity discount. **Applied Mathematical Modelling**, v.33, p. 1417–1429, 2009.
- KRALJIC, P. Purchasing must become supply management. **Havard Business Review**, september/october, p. 109-117, 1983.
- KU, C.; CHANG, C.; HO, H. Global supplier selection using fuzzy analytic hierarchy process and fuzzy goal programming. **Quality and Quantity**, v. 44, n. 4, p. 623-640, 2010.
- KUO, R.J.; HONG, S.Y.; HUANG, Y.C. Integration of particle swarm optimization-based fuzzy neural network and artificial neural network for supplier selection. **Applied Mathematical Modelling**, v.34, p. 3976–3990, 2010.
- KUO, R.J.; WANG, Y.C.; TIEN, F.C. Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection. **Journal of Cleaner Production**, v.18, p. 1161-1170, 2010.
- LAM, K.; TAO, R.; LAM. M.C. A material supplier selection model for property developers using Fuzzy Principal Component Analysis. **Automation in Construction**, v.19, p. 608–618, 2010.
- LASCH, R.; JANKER, C. G. Supplier selection and controlling using multivariate analysis. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v.35, p. 409-425, 2005.

- LEE, A. H. I. A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks. **Expert Systems with Applications**, v.36, p. 2879–2893, 2009.
- LEE, A. H. I.; CHANG, H.; LIN C. An evaluation model of buyer–supplier relationships in high-tech industry - The case of an electronic components manufacturer in Taiwan. **Computers & Industrial Engineering**, v.57, p. 1417–1430, 2009.
- LEE, A. H. I.; KANG, H.; CHANG, C. Fuzzy multiple goal programming applied to TFT-LCD supplier selection by downstream manufacturers. **Expert Systems with Applications**, v.36, p. 6318–6325, 2009.
- LI, G.; YAMAGUCHI, D.; NAGAI, M. A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem. **Mathematical and Computer Modelling**, v.46, p. 573–581, 2007.
- LI, L.; ZABUNSKY, Z. B. Incorporating uncertainty into a supplier selection problem. **International Journal of Production Economics**, v.134, n. 2, p. 344–356, 2011.
- LIAO, C.; KAO, H. An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 10803–10811, 2011.
- LIAO, C; KAO, H. Supplier selection model using Taguchi loss function, analytical hierarchy process and multi-choice goal programming. **Computers & Industrial Engineering**, v.58, p. 571–577, 2010.
- LIAO, Z.; RITTSCHER, J. Integration of supplier selection, procurement lot sizing and carrier selection under dynamic demand conditions. **International Journal of Production Economics**, v.107, p. 502–510, 2007.
- LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. Using combined fuzzy and TOPSIS techniques for supporting supplier selection decision taken. In: 19th **International Annual EurOMA Conference (European Operations Management Association)**, 2012, Amsterdam. Proceedings of 19th International Annual EurOMA Conference, 2012.
- LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R.; OSIRO, L. Problema de Seleção e Avaliação de Fornecedores: Caracterização da Literatura Científica por meio de um Levantamento Bibliográfico Sistematizado. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, 2011, Belo Horizonte-MG. Anais do XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2011.
- LIMA JUNIOR, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. Incertezas em seleção de fornecedores: Classificação e Recomendações para modelagem. In: **XIX Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP)**, 2012, Bauru-SP. Anais do XIX Simpósio de Engenharia de Produção, 2012.
- LIMA JUNIOR, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. Métodos de Decisão Multicritério para Seleção de Fornecedores: Um Panorama do Estado da Arte. **Revista Gestão & Produção**. Previsão de publicação: v.20, n.2, 2013.
- LIMA JUNIOR, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R.; GANGA, G. D. Avaliação da Qualidade de Softwares de apoio à decisão. In: **XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, 2012, Bento Gonçalves-RS. Anais do XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2012.
- LIN, C.; CHEN, C.; TING, Y. An ERP model for supplier selection in electronics industry. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 1760–1765, 2011.
- LIN, R. An integrated FANP–MOLP for supplier evaluation and order allocation. **Applied Mathematical Modelling**, v.33, p. 2730–2736, 2009.
- LIN, R. et al. An integrated method for finding key suppliers in SCM. **Expert Systems with Applications**, v.36, p. 6461–6465, 2009.
- LUO, X. Supplier selection in agile supply chains: Na information-processing model and na illustration. **Journal of Purchasing & Supply Management**, v.15, p. 249–262, 2009.
- MAFAKHERI, F. M.; BRETON, M.; GHONIEM, A. Supplier selection-order allocation: A two-stage multiple criteria dynamic programming approach. **International Journal of Production Economics**, v. 132, n. 1, p. 52–57, 2011.
- MAHMOUD, M. R.; GARCIA, L. A. Comparison of different multicriteria evaluation methods for the Red Bluff diversion dam. **Environment Modelling & Software**, v. 15, p. 471–478, 2000.
- MENDONZA, A.; VENTURA, J. A. A serial inventory system with supplier selection and order quantity allocation. **European Journal of Operational Research**, v. 207, p. 1304–1315, 2010.

- MICHELI, G. J. L. A decision-maker-centred supplier selection approach for critical supplies. **Management Decision**, v.46, p. 918-932, 2008.
- MILLIKEN, J. Three Types of Perceived Uncertainty About the Environment. **Academy of Management Review**, v. 12, n. 1, p. 133-143, 1987.
- MONCZKA, R. M.; TRECHA, S. J. Cost-based supplier performance evaluation. **Journal of Purchasing and Materials Management**, v. 24, p. 2-7, 1988.
- MOORE, D.L.; FEARON, H. E. Computer-assisted decision-making in purchasing. **Journal of Purchasing**, v. 9, p. 5-25, 1972.
- MOORE, J. H.; WEATHERFORD, L. R. **Tomada de Decisão em Administração**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- MORLACCHI, P. Small and medium enterprises in supply chain: a supplier evaluation model and some empirical results. **Proceedings IFPMM Summer School**, Agosto, Saltzburg, 1997.
- NARASIMHAN, R. An analytic approach to supplier selection. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 1, p. 27-32, 1983.
- NDUBISI, N. O.; JANTAN, M.; HING, L. C.; AYUB, M. S. Supplier Selection and Management Strategies and Manufacturing Flexibility. **The Journal of Enterprise Information Management**, v. 18, p. 330-349, 2005.
- NG, W. L. An efficient and simple model for multiple criteria supplier selection problem. **European Journal of Operational Research**, v.186, p. 1059–1067, 2008.
- NUDURUPATI, S. S.; BITITCI, U. S. Implementation and impact of IT enabled performance measurement. **Production Planning and Control**, v. 16, n. 2, p. 152-162, 2005.
- OLIVEIRA, R. C.; LOURENÇO, J. C. A multicriteria model for assigning new orders to service suppliers. **European Journal of Operational Research**, v.139, p. 390-399, 2002.
- OLIVER, R.K.; WEBBER, M.D. (1982): **Supply Chain Management: Logistics Catches up with Strategy**. Reimpresso em: CHRISTOPHER, M. (Ed.): **Logistics: The Strategic Issues**, London, pp. 63–75, 1992.
- ÖNUT, S.; KARA, S.S.; ISIK, E. Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company. **Expert Systems with Applications**, v.36, p. 3887–3895, 2009.
- ORDOOBADI, S. M. Application of Taguchi loss functions for supplier selection. **Supply Chain Management: An International Journal**, v.14, p. 22-30, 2009.
- ORDOOBADI, S. M. Development of a supplier selection model using fuzzy logic. **Supply Chain Management: An International Journal**, v.14, p. 314–327, 2008.
- OSIRO, L.; LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. Análise da segmentação da base de fornecedores em uma empresa de eletrodomésticos da linha branca. In: **XIX Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP)**, 2012, Bauru-SP. Anais do XIX Simpósio de Engenharia de Produção, 2012.
- ÖZGEN, D. et al. A two-phase possibilistic linear programming methodology for multi-objective supplier evaluation and order allocation problems. **Information Sciences**, v.178, p. 485–500, 2008.
- OZKOK, B. A.; TIRYAKI, F. A compensatory fuzzy approach to multi-objective linear supplier selection problem with multiple-item. **Expert Systems with Applications**, v.38, n. 9, p. 11363-11368, 2011.
- PARK, J. et al. An integrative framework for supplier relationship management. **Industrial Management & Data Systems**, v. 11, n. 4, p. 495-515, 2010.
- PERÇIN, S. An application of the integrated AHP-PGP model in supplier selection. **Measuring Business Excellence**, v.10, p. 34-49, 2006.
- PIDD, M. **Computer Simulation in management Science**. 5 ed. Lancaster, United Kingdom: Ed. John. Wiley & Sons, 2004, 328 p.
- PIDDUCK, A. B. Issues in supplier partner selection. **Journal of Enterprise Information Management**, v. 19, p.262-276, 2006.
- PRESSEY, A. D. WINKLHOFER, H. TZOKAS, N. X. Purchasing practices in small- to medium-sized enterprises: An examination of strategic purchasing adoption, supplier evaluation and supplier capabilities. **Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 15, p. 214-226, 2009.

- PUNNIYAMOORTHY, M.; MATHIYALAGAN, P.; PARTHIBAN, P. A strategic model using structural equation modeling and fuzzy logic in supplier selection. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 458–474, 2011.
- RAMANATHAN, R. Supplier selection problem: integrating DEA with the approaches of total cost of ownership and AHP. **Supply Chain Management: An International Journal**, v.12, p. 258–261, 2007.
- RAZMI, J. SONGHORI, M. J.; KHAKBAZ, M. H. An integrated fuzzy group decision making/fuzzy linear programming (FGDMLP) framework for supplier evaluation and order allocation. **International Journal Advanced Manufacture Technology**, v.43, p. 590–607, 2009.
- RAZMI, J.; RAFIEI, H. An integrated analytic network process with mixed-integer non-linear programming to supplier selection and order allocation. **International Journal Advanced Manufacture Technology**, v.49, p. 1195–1208, 2010.
- RAZMI, J.; RAFIEI, H.; HASHEMI, M. Designing a decision support system to evaluate and select suppliers using fuzzy analytic network process. **Computers & Industrial Engineering**, v.57, p. 1282–1290, 2009.
- REZAEI, J.; DAVOODI, M. A deterministic, multi-item inventory model with supplier selection and imperfect quality. **Applied Mathematical Modelling**, v.32, p. 2106–2116, 2008.
- RIBEIRO, J. R. Método para Solução do problema de seleção de fornecedores utilizando apoio multicritério à decisão. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica**, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2008.
- ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Dordrecht : Kluwer, 1996.
- RUMELHART, D. E., HINTON, G. E.; MCCLELLAND, J. L. **A General Framework for Parallel Distributed Processing**. In RUMELHART, D.E.; MCCLELLAND, J. L.. **Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition**, v. 1. MIT Press: Cambridge, 1986.
- RUONING, X.; XIAOYAN, Z. Extensions of the Analytic Hierarchy Process in fuzzy environment. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 52, p. 251-257, 1992.
- SAATY, T. L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. **International Journal of Services Sciences**, v.1, n.1, p. 83-98, 2008.
- SAATY, T. L. **Fundamentals of the Analytic Network Process**. ISAHF: Kobe, Japan. , v. 12, Agosto, 1999.
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. 1 ed. McGraw Hill: New York, 1980.
- SAEN, R. F. A new mathematical approach for suppliers selection: Accounting for non-homogeneity is important. **Applied Mathematics and Computation**, v.185, p. 84–95, 2007a.
- SAEN, R. F. Restricting weights in supplier selection decisions in the presence of dual-role factors. **Applied Mathematical Modelling**, v.34, p. 2820–2830, 2010.
- SAEN, R. F. Suppliers selection in the presence of both cardinal and ordinal data. **European Journal of Operational Research**, v.183, p. 741–747, 2007b.
- SALMINEN, P.; HOKKANEN, J.; LAHDELMA, R. Comparing multicriteria methods in the context of environmental problems. **European Journal of Operational Research**, v. 104, p. 485-496, 1998.
- SALOMON, V. A. P. **Analytic Hierarchy Process**. In: MARINS, F.A.S.; PEREIRA, M.S.; BELDERRAIN, M.C.N.; URBINA, L.S. (Org.). **Métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios**. S. Paulo: Blucher, v. , p. 21-40, 2010.
- SALOMON, V. A. P.; MARINS, F. A. S.; DUDUCH, M. A. Multiple-decisions decision-making applied to the supplier selection for assembly line equipments in an automotive industry. *In: International Symposium on the Analytic Hierarchy Process*, 2007, Vina del Mar. Proceedings... Santiago, Chile: Fulcrum, 2007.
- SALOMON, V. A. P.; SHIMIZU, T. Performance of three different methods of multiple criteria decision making applied to the supplier selection. *In: International Conference on Multiple Criteria Decision Making*, 18., 2006, Chania, Grécia. Book of abstracts. Chania: TUC, 2006.
- SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de Revisão Sistemática: Um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 11, n. 1, p. 83-89, jan./fev, 2007.

- SANAYEI, A. *et al.* An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming. **Journal of the Franklin Institute**, v.345, p. 731–747, 2008.
- SANAYEI, A.; MOUSAVI, S. F.; YAZDANKHAH, A. Group decision making process for supplier selection with VIKOR under. **Expert Systems with Applications**, v.37, p. 24–30, 2010.
- SARKIS, J., TALLURI, S. A model for strategic supplier selection. *In*: Leenders, M. (Ed.), **Proceedings of the 9th international IPSERA Conference**. Richard Ivey Business School, London, Ontario, p. 652-661, 2000.
- SAWIK, T. Supplier selection in make-to-order environment with risks. **Mathematical and Computer Modelling**, v.53, p. 1670–1679, 2011.
- SCHMIDT, A. M. A. Processo de apoio à Tomada De Decisão - Abordagens: AHP E MACBETH. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)** - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis-SC, 1995.
- SEVKLI, M. et al. Hybrid analytical hierarchy process model for supplier selection. **Industrial Management & Data Systems**, v.108, p. 122-142, 2008.
- SHAHANAGHI, K.; YAZDIAN, S. A. Vendor Selection Using a New Fuzzy Group TOPSIS Approach. **Journal of Uncertain Systems**, v.3, n.3, p.221-231, 2009.
- SHEMASHADI, A. et al. A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting. **Expert Systems with Applications**, v.38, n.10, p. 12160-12167, 2011.
- SHEN, C.; YU, K. Enhancing the efficacy of supplier selection decision-making on the initial stage of new product development: A hybrid fuzzy approach considering the strategic and operational factors simultaneously. **Expert Systems with Applications**, v.36, p. 11271–11281, 2009.
- SHU, M.; WU, H. Quality-based supplier selection and evaluation using fuzzy data. **Computers; Industrial Engineering**, v.57, p. 1072–1079, 2009.
- SHYUR, H.; SHIH, H. A hybrid MCDM model for strategic vendor selection. **Mathematical and Computer Modelling**, v.44, p. 749–761, 2006.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; BETTS, A. **Gerenciamento de Operações e de Processos**. Pearson Education Limited, 2006.
- SMITH, L. A.; STERN, N. Uncertainty in science and its role in climate policy. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 369, n. 1956, 2011.
- SONGHORI, M. J.; TAVANA, M.; AZADEH, A.; KHAKBAZ, N. A supplier selection and order allocation model with multiple transportation alternatives. **International Journal Advanced Manufacture Technology**, v.52, p. 365–376, 2011.
- STEUER, R. E. **Multiple Criteria Optimization: Theory, Computations, and Application**. John Wiley & Sons, Inc: New York, 1986.
- THRULOGACHANTAR, P.; ZAILANI, S. The influence of purchasing strategies on manufacturing performance. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 22, p. 641-663, 2011.
- TING, S.; CHO, D. An integrated approach for supplier selection and purchasing decisions. **Supply Chain Management: An International Journal**, v.13, p. 116–127, 2008.
- TSAI, Y. L.; YANG, Y. J; LIN, C. A dynamic decision approach for supplier selection using ant colony system. **Expert Systems with Applications**, v.37, p. 8313–8321, 2010.
- TURBAN, E.; SHARDA, R.; DELEN, D. **Decision Support and Business Intelligence Systems**. 8 ed. Pearson Prentice Hall. 2005. 750 p.
- UNAHABHOKHA, C.; PLATTS, K.; TAN, H. T. Predictive performance measurement system: A fuzzy expert system approach. **Benchmarking: An International Journal**, v. 14, n. 1, p. 77-91, 2007.
- USTUN, O.; DERMITAS, E. A. An integrated multi-objective decision-making process for multi-period lot-sizing with supplier selection. **Omega**, v.36, p. 509 – 521, 2008a.
- USTUN, O.; DERMITAS, E. A. Multi-period lot-sizing with supplier selection using achievement scalarizing functions. **Computers & Industrial Engineering**, v.54, p. 918–931, 2008b.

- VADAHNI, B.; JABBARI, A.H.K., ROSHNAEI, V.; ZANDIEH, M. Extension of the ELECTRE method for decision-making problems with interval weights and data. **International Journal Advanced Manufacture Technology**, v.50, p. 793–800, 2010.
- VAN LAARHOVEN, P. J. M.; PEDRYCZ, W. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 11, p. 229-241, 1983.
- VANTEDDU, G.; CHINNAM, R.; GUSHIKIN, O. Supply chain focus dependent supplier selection problem. **International Journal of Production Economics**, v.129, p. 204–216, 2011.
- VINODH, S., RAMIYA, R. A.; GAUTHAM, S.G. Application of fuzzy analytic network process for supplier selection in a manufacturing organisation. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 272–280, 2011.
- WANG, J.; CHENG, C.; HUANG, H.. Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection. **Applied Soft Computing**, v.9, p. 377–386, 2009.
- WANG, J.; SHU, Y. F. Fuzzy decision modeling for supply chain management. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 150, p.107–127, 1995.
- WANG, T.; YANG, Y. A fuzzy model for supplier selection in quantity discount environments. **Expert Systems with Applications**, v.36, p. 12179–12187, 2009.
- WANG, W. A fuzzy linguistic computing approach to supplier evaluation. **Applied Mathematical Modelling**, v.34, p. 3130–3141, 2010.
- 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.
- WEELE, A. J. **Purchasing Management: Analysis, Planing and Practice**. Chapman & Hall: London, 1994.
- WINSTON, W. **Operations Research: applications and algorithms**. 4 ed. Thomson/Duxbury, 2004. 1440p.
- WISNER, J.D.; FAWCETT, S.E. Link firm strategy to operating decisions through performance measurement, **Production and Inventory Management Journal**, Third Quarter, p.5-11, 1991.
- WU, C.; BARNES, D. A literature review of decision-making models and approaches for partner selection in agile supply chains. **Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 17, p. 256–274, 2011.
- WU, D. A systematic stochastic efficiency analysis model and application to international supplier performance evaluation. **Expert Systems with Applications**, v.37, p. 6257–6264, 2010.
- WU, D. Supplier selection: A hybrid model using DEA, decision tree and neural network . **Expert Systems with Applications**, v.36, p. 9105–9112, 2009b.
- WU, L. Supplier Selection under uncertainty: a switching options perspective. **Industrial Management & Data Systems**, v. 109, p. 191-205, 2009a.
- XIA, W.; WU, Z. Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments. **Omega**, v.35, p. 494 – 504, 2007.
- YANG, C.; CHEN, B. Supplier selection using combined analytical hierarchy process and grey relational analysis. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.17, p. 926-941, 2006.
- YANG, J. L. et al. Vendor selection by integrated fuzzy MCDM techniques with independent and interdependent relationships. **Information Sciences**, v.178, p. 4166–4183, 2008.
- YÜCEL, A.; GÜNERI, A. F. A weighted additive fuzzy programming approach for multi-criteria supplier selection. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 6281–6286, 2011.
- ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338-353, 1965.
- ZADEH, L. A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. **IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics**, v. 3, p. 28–44, 1973.
- ZEYDAN, M.; ÇOLPAN, C.; ÇOBANOĞLU, C. A combined methodology for supplier selection and performance evaluation. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 2741–2751, 2011.
- ZHANG, D. An novel approach to supplier selection based on vague sets group decision. **Expert Systems with Applications**, v.36, p. 9557–9563, 2009.
- ZHANG, J.; ZHANG, M. Supplier selection and purchase problem with fixed cost and constrained. **International Journal of Production Economics**, v.129, p. 1–7, 2011.

ZHAO, K.; YU, X. A case based reasoning approach on supplier selection in petroleum enterprises. **Expert Systems with Applications**, v.38, p. 6839–6847, 2011.

ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy set theory and its applications**. 2. ed. Boston: Kluwer Academic, 1991.

ZOLGHADRI, M. Power-based supplier selection in product development projects. **Computers in Industry**, v. 62, n. 5, p. 487-500, 2011.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO ELABORADO PARA COLETA DE DADOS

1. Apresentação da Pesquisa

O objetivo desta pesquisa é comparar o uso de duas técnicas que auxiliam a tomada de decisão para seleção de fornecedores: *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP. Estas técnicas foram escolhidas por serem bastante adotadas em pesquisas acadêmicas.

As duas técnicas comparadas são baseadas em lógica *fuzzy*, o que permite que as avaliações dos fornecedores sejam feitas utilizando julgamentos linguísticos (Exemplo: “Bom”, “Ruim”, “Ótimo”). Desta forma, a avaliação do desempenho dos fornecedores deve ser utilizando somente a percepção e experiência do entrevistado, e por isso não requer dados históricos de compras.

O entrevistado deve avaliar o desempenho de alguns fornecedores da empresa e a importância de cada um dos critérios de seleção usados. Cada técnica possui um procedimento diferente de avaliação e estes são detalhados a seguir.

2. Avaliação de fornecedores no *Fuzzy* TOPSIS

No modelo *fuzzy* TOPSIS, são necessárias avaliações da **importância dos critérios de seleção** e do **desempenho de alguns fornecedores**.

➤ Avaliação dos critérios de seleção de fornecedores

Para avaliar o peso dos critérios, o entrevistado deve preencher a tabela abaixo, atribuindo **um único valor de importância** para cada critério de seleção.

Critérios	Nível de Importância				
Qualidade	<input type="checkbox"/> Muito Baixa	<input type="checkbox"/> Baixa	<input type="checkbox"/> Média	<input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Muito Alta
Custo	<input type="checkbox"/> Muito Baixa	<input type="checkbox"/> Baixa	<input type="checkbox"/> Média	<input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Muito Alta
Entrega	<input type="checkbox"/> Muito Baixa	<input type="checkbox"/> Baixa	<input type="checkbox"/> Média	<input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Muito Alta
Perfil	<input type="checkbox"/> Muito Baixa	<input type="checkbox"/> Baixa	<input type="checkbox"/> Média	<input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Muito Alta
Relacionamento	<input type="checkbox"/> Muito Baixa	<input type="checkbox"/> Baixa	<input type="checkbox"/> Média	<input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Muito Alta

➤ Avaliação dos fornecedores

A avaliação do desempenho dos fornecedores funciona de forma parecida. **Não é necessário informar quem são os fornecedores avaliados**, mas somente seu desempenho em alguns aspectos. Para avaliar os fornecedores, o entrevistado deve preencher a tabela abaixo, atribuindo um único valor de desempenho para o fornecedor em cada critério.

Desempenho do Fornecedor 1					
Qualidade	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Custo	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Entrega	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Perfil	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto

Relacionamento	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
-----------------------	--------------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------

Desempenho do Fornecedor 2					
Qualidade	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Custo	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Entrega	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Perfil	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Relacionamento	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto

Desempenho do Fornecedor 3					
Qualidade	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Custo	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Entrega	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Perfil	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Relacionamento	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto

Desempenho do Fornecedor 4					
Qualidade	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Custo	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Entrega	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Perfil	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Relacionamento	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto

Desempenho do Fornecedor 5					
Qualidade	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Custo	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Entrega	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Perfil	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto
Relacionamento	<input type="checkbox"/> Muito Baixo	<input type="checkbox"/> Baixo	<input type="checkbox"/> Médio	<input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Muito Alto

3. Avaliação de fornecedores no *Fuzzy* AHP

No *fuzzy* AHP, também são necessárias avaliações da **importância dos critérios de seleção** e do **desempenho dos mesmos fornecedores avaliados no *fuzzy* TOPSIS**. Porém, diferentemente do *fuzzy* TOPSIS, **as avaliações devem ser feitas de forma comparativa**. Para isso, nas matrizes de comparação a seguir, deve-se comparar a alternativa de cada linha com as demais alternativas (mostradas nas colunas).

➤ Avaliação dos critérios de seleção

Na avaliação dos pesos dos critérios, deve-se avaliar **o quanto cada critério é mais importante que os demais**. Para isso, os valores linguísticos abaixo devem ser utilizados para preencher a tabela de avaliação dos pesos dos critérios.

Sigla	Valores linguísticos
I	<i>Igualmente importante</i>
M	<i>Moderadamente mais importante</i>
F	<i>Fortemente mais importante</i>
MF	<i>Muito Fortemente mais importante</i>
A	<i>Absolutamente mais importante</i>

Avaliação do peso dos critérios

	Qualidade	Custo	Entrega	Perfil	Relacionamento
Qualidade					
Custo					

Entrega					
Perfil					
Relacionamento					

➤ **Avaliação do desempenho dos fornecedores**

Na avaliação do desempenho dos fornecedores, deve-se avaliar o quanto **um fornecedor é melhor que outro** em um dado critério. Para isso, os valores linguísticos abaixo devem ser utilizados para preencher as 5 matrizes de comparação a seguir.

	Variáveis linguísticas
I	<i>Igualmente preferido</i>
M	<i>Moderadamente preferido</i>
F	<i>Fortemente preferido</i>
MF	<i>Muito Fortemente preferido</i>
A	<i>Absolutamente preferido</i>

Qualidade

	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	Fornecedor 5
Fornecedor 1					
Fornecedor 2					
Fornecedor 3					
Fornecedor 4					
Fornecedor 5					

Entrega

	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	Fornecedor 5
Fornecedor 1					
Fornecedor 2					
Fornecedor 3					
Fornecedor 4					
Fornecedor 5					

Custo

	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	Fornecedor 5
Fornecedor 1					
Fornecedor 2					
Fornecedor 3					
Fornecedor 4					
Fornecedor 5					

Perfil do Fornecedor

	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	Fornecedor 5
Fornecedor 1					
Fornecedor 2					
Fornecedor 3					
Fornecedor 4					
Fornecedor 5					

Relacionamento com o Fornecedor

	Fornecedor 1	Fornecedor 2	Fornecedor 3	Fornecedor 4	Fornecedor 5
Fornecedor 1					
Fornecedor 2					
Fornecedor 3					
Fornecedor 4					
Fornecedor 5					

APÊNDICE B – CÓDIGOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO FUZZY TOPSIS EM LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO MATLAB®

1. Função Principal

```
function ranking=fuzzy_topsis(n_alt, n_crit, n_dm, bd_desempenho_dm1,
bd_pesos_dm1)

bd_pesos=agr_fuz_pesos(bd_pesos_dm1,n_crit,n_dm),%agr_fuz_pesos(bd_pesos_dm1
n_crit, n_dm);
basededados_d=agr_fuz_desempenho(bd_desempenho_dm1, n_alt,
n_crit,n_dm),%agr_fuz_desempenho(bd_desempenho_dm1, bd_desempenho_dm2,
bd_desempenho_dm3, n_alt, n_crit, n_dm);
ranking=calcular_desempenho(basededados_d, bd_pesos, n_alt, n_crit);
ranking=sortrows(ranking);

fprintf('+++++++ SISTEMA FUZZY TOPSIS PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES
+++++++ '), disp ( ' '),
disp ( ' '),
disp ( ' '),
fprintf('..... DADOS DO PROBLEMA .....'), disp ( ' '),
disp ( ' '),
fprintf('----- Número de Especialistas entrevistados: %2d', n_dm), disp ( '
'),
disp ( ' '),
fprintf('----- Número de Critérios adotados: %2d', n_crit), disp ( ' '),
disp ( ' '),
fprintf('----- Número de Fornecedores avaliados: %2d', n_alt'), disp ( ' '),
disp ( ' '),
n_julg=(n_alt*n_crit+n_crit)*n_dm;
fprintf('----- Número de Julgamentos coletados: %2d', n_julg'), disp ( ' '),
disp ( ' '),
disp ( ' '),
disp ( ' '),
fprintf('..... RANKING DE FORNECEDORES .....'), disp ( '
'),
fprintf('|      ALTERNATIVAS      |      Desempenho Final      |'), disp
( ' '),

for i=1:n_alt
fprintf('|  Fornecedor %2d      |      %2f      |',
ranking(i,2), ranking(i,1)), disp ( ' '),
end

end
```

2. Função Agregar e fuzzificar desempenho dos fornecedores

```
function desempenho=agr_fuz_desempenho(bd_desempenho_dm1, n_alt, n_crit,
n_dm);

desempenho=zeros(3,n_alt, n_crit);
n_col=(n_crit*3)-2;

for i=1:n_alt
w=1;
j=1;
while j<=n_col+2
desempenho(1,i,w)=(bd_desempenho_dm1(i, j+1))/n_dm;
desempenho(2,i,w)=(bd_desempenho_dm1(i, j))/n_dm;
desempenho(3,i,w)=(bd_desempenho_dm1(i, j+2))/n_dm;
```

```

        j=j+3;
        w=w+1;
    end

end
length(desempenho);
end

```

3. Função Agregar e fuzzificar pesos dos critérios de decisão

```

function pesos=agr_fuz_pesos(bd_pesos_dm1,n_crit, n_dm);

j=1;
pesos=zeros(n_crit,3);

%repetições referentes a índices das matrizes de entrada (i,j)

for i=1:n_crit
    pesos(i,1)=(bd_pesos_dm1(i,2))/n_dm;
    pesos(i,2)=(bd_pesos_dm1(i,1))/n_dm;
    pesos(i,3)=(bd_pesos_dm1(i,3))/n_dm;
    j=j+2;%pular as casas de l,m,u;
end
end

```

4. Função Calcular Desempenho

```

function ranking=calcular_desempenho(bd_desempenho, bd_pesos, n_alt, n_crit)

% Ponderação da matriz de desempenho

for i=1:n_alt
    for j=1:n_crit
        bd_desempenho(1,i,j)=bd_desempenho(1,i,j)*bd_pesos(j,1);
        bd_desempenho(2,i,j)=bd_desempenho(2,i,j)*bd_pesos(j,2);
        bd_desempenho(3,i,j)=bd_desempenho(3,i,j)*bd_pesos(j,3);
    end
end
fprintf('..... base de dados ponderada .....'), disp ('
'),
bd_desempenho,

max_u=zeros(n_crit);

% Cálculo da Matriz Normalizada
for j=1:n_crit
    for i=1:n_alt
        if bd_desempenho(3,i,j)>max_u(j)
            max_u(j)=bd_desempenho(3,i,j);
        else
            end
        end
    end
end

%normalizando os elementos
for j=1:n_crit
    for i=1:n_alt
        bd_desempenho(1,i,j)=bd_desempenho(1,i,j)/max_u(j);
        bd_desempenho(2,i,j)=bd_desempenho(2,i,j)/max_u(j);
        bd_desempenho(3,i,j)=bd_desempenho(3,i,j)/max_u(j);
    end
end
end

```

```

fprintf('..... base de dados ponderada e normalizada
.....'), disp(' '),
bd_desempenho,

%Criar Solução ideal positiva segundo Chen 2000

si_positiva=ones(1,3);
si_positiva(1,1)=1;
si_positiva(1,2)=1;
si_positiva(1,3)=1;

% Criar Solução ideal positiva segundo Chen et al 2006
%si_positiva=zeros(3,n_crit);
% for j=1:n_crit
%   for i=1:n_alt
%     if si_positiva(3,j)<=bd_desempenho(3,i,j)
%       si_positiva(1,j)=bd_desempenho(1,i,j);
%       si_positiva(2,j)=bd_desempenho(2,i,j);
%       si_positiva(3,j)=bd_desempenho(3,i,j);
%     else
%     end
%   end
% end
%end

% Criar Solução ideal negativa segundo Chen 2000

si_negativa=zeros(1,3);
si_negativa(1,1)=0;
si_negativa(1,2)=0;
si_negativa(1,3)=0;

% Criar Solução ideal negativa segundo Chen et al 2006
%si_negativa=ones(3,n_crit);
% for j=1:n_crit
%   for i=1:n_alt
%     if si_negativa(1,j)>=bd_desempenho(1,i,j)
%       si_negativa(1,j)=bd_desempenho(1,i,j);
%       si_negativa(2,j)=bd_desempenho(2,i,j);
%       si_negativa(3,j)=bd_desempenho(3,i,j);
%     else
%     end
%   end
% end
% end

% Cálculo da distância das Soluções Ideais Positiva e Negativa

dist_si_posit=zeros(n_alt);
dist_si_negat=zeros(n_alt);

for i=1:n_alt
    %calcula a distância de pontuação das alternativas em relação a cada
    critério da solução ideal positiva e soma todas elas.
    soma=0;
    for j=1:n_crit
        dist_fps_crit=sqrt(((bd_desempenho(1,i,j)-
si_positiva(1,1))^2+(bd_desempenho(2,i,j)-
si_positiva(1,2))^2+(bd_desempenho(3,i,j)-si_positiva(1,3))^2)/3),
        soma=soma+dist_fps_crit;
    end
    dist_si_posit(i)=(soma),

```

```

    %calcula da distância de pontuação das alternativas em relação a cada
    critério da solução ideal negativa, e soma todas elas.
    soma=0;
    for j=1:n_crit
        dist_fnis_crit=sqrt(((bd_desempenho(1,i,j)-
    si_negativa(1,1))^2+(bd_desempenho(2,i,j)-
    si_negativa(1,2))^2+(bd_desempenho(3,i,j)-si_negativa(1,3))^2)/3),
        soma=soma+dist_fnis_crit;
    end
    dist_si_negat(i)=(soma),
end

%Cálculo da proximidade relativa da solução ideal
ranking=zeros(n_alt,2);
for i=1:n_alt

ranking(i,1)=((dist_si_negat(i)+dist_si_negat(i)+dist_si_negat(i))/((dist_si_
posit(i)+dist_si_posit(i)+dist_si_posit(i))+(dist_si_negat(i)+dist_si_negat(i)
)+dist_si_negat(i)))));
    ranking(i,2)=i;
end

end

```

APÊNDICE C – CÓDIGOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO FUZZY AHP EM LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO MATLAB®

1. Função Principal

```
function ranking=fuzzy_ahp(n_alt, n_crit, n_dm, bdc_pesos_dm1,
bdc_desempenho_dm1_c1, bdc_desempenho_dm1_c2, bdc_desempenho_dm1_c3,
bdc_desempenho_dm1_c4, bdc_desempenho_dm1_c5)

fprintf('+++++++ SISTEMA FUZZY AHP PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES
+++++++ '), disp(' '),
disp(' '),
disp(' '),
fprintf('..... DADOS DO PROBLEMA .....'), disp(' '),
disp(' '),
fprintf('----- Número de Especialistas entrevistados: %2d', n_dm), disp(' '),
disp(' '),
disp(' '),
fprintf('----- Número de Critérios adotados: %2d', n_crit), disp(' '),
disp(' '),
fprintf('----- Número de Fornecedores avaliados: %2d', n_alt), disp(' '),
% INCLUIR NÚMERO DE COMPARAÇÕES COLETADAS
disp(' '),
disp(' '),
disp(' '),

% CASO NECESSÁRIO, ALTERAR AQUI PARA IMPORTAR 'n_dm' BASES DE DADOS DE CADA
NOVO CRITÉRIO.
% Verificar a consistência dos julgamentos de todas as matrizes

cr_pesos(1,1,1)=calcular_cr(bdc_pesos_dm1, n_crit);
%cr_pesos(1,1,2)=calcular_cr(bdc_pesos_dm2, n_crit);
%cr_pesos(1,1,3)=calcular_cr(bdc_pesos_dm3, n_crit);

fprintf('..... TESTE DE CONSISTÊNCIA DOS PESOS.....'), disp(' '),
cr_pesos(1,1,1),

% CASO NECESSÁRIO, ALTERAR AQUI: COPIAR BLOCO DE CÓDIGOS (3 LINHAS) E MUDAR O
NOME DO CRITÉRIO.
fprintf('..... TESTE DE CONSISTÊNCIA DAS MATRIZES DE
DESEMPENHO.....'), disp(' '),
cr_desemp(1,1,1)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm1_c1, n_alt);
%cr_desemp(1,1,2)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm2_c1, n_alt);
%cr_desemp(1,1,3)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm3_c1, n_alt);

cr_desemp(1,2,1)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm1_c2, n_alt);
%cr_desemp(1,2,2)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm2_c2, n_alt);
%cr_desemp(1,2,3)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm3_c2, n_alt);

cr_desemp(1,3,1)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm1_c3, n_alt);
%cr_desemp(1,3,2)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm2_c3, n_alt);
%cr_desemp(1,3,3)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm3_c3, n_alt);

cr_desemp(1,4,1)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm1_c4, n_alt);
%cr_desemp(1,4,2)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm2_c4, n_alt);
%cr_desemp(1,4,3)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm3_c4, n_alt);

cr_desemp(1,5,1)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm1_c5, n_alt);
%cr_desemp(1,5,2)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm2_c5, n_alt);
%cr_desemp(1,5,3)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm3_c5, n_alt);

%cr_desemp(1,6,1)=calcular_cr(bdc_desempenho_dm1_c6, n_alt);
```

```

cc=0; % contador de consistência - quantifica qtas tabelas de julgamentos são
consistentes

for k=1:n_dm
    if cr_pesos(1,1,k)>=0.3
        fprintf('----- Existem Julgamentos Inconsistentes. É necessário coletar
novos Julgamentos do especialista %d', k), disp ( ' '),
        disp ( ' '),
        else if cr_desemp(1,1,k)>=0.1
            fprintf('----- Existem Julgamentos criticos. Talvez seja
melhor coletar novos julgamentos do especialista %d', k), disp ( ' '),
            disp ( ' '),
            cc=cc+1;
            else
                fprintf('----- Todos os julgamentos coletados são consistentes'),
disp ( ' '),
                disp ( ' '),
                cc=cc+1;
            end
        end
    end
end

for j=1:n_crit
    for k=1:n_dm
        if cr_desemp(1,j,k)>=0.2
            fprintf('----- Existem Julgamentos inconsistentes. É
necessário coletar novos Julgamentos do especialista %d quanto ao critério
&f', k, j), disp ( ' '),
            else if cr_desemp(1,j,k)>=0.1
                fprintf('----- Existem Julgamentos criticos. Talvez
seja melhor coletar novos Julgamentos do especialista %d quanto ao critério
&f', k, j), disp ( ' '),
                cc=cc+1;
            else
                fprintf('Todos os julgamentos coletados são
consistentes'), disp ( ' '),
                cc=cc+1;
            end
        end
    end
end

consist_requerida=((1+n_crit)*n_dm);

if cc==consist_requerida %executa fahp

    %Iteração no primeiro nível da hierarquia (pesos)
    pesos_comp=agr_fuz_pesos(bdc_pesos_dm1, n_crit, n_dm); %fuzificar
matriz comparativa e agregar a opinião dos especialistas
    med_sintetica_pesos=obter_med_sintetica_pesos(pesos_comp, n_crit),
%obter medida sintética de cada objeto
    col_pref_pesos=obter_col_pref_pesos(med_sintetica_pesos,
n_crit),%obter vetor de preferência dos critérios

    %Iteração no segundo nível da hierarquia (desempenho das alternativas em
relação a cada critério)

    %fuzificar matrizes comparativas e agregar a opinião dos especialistas
    desemp_comp_c1=agr_fuz_desemp(bdc_desempenho_dm1_c1, n_alt, n_dm);
    desemp_comp_c2=agr_fuz_desemp(bdc_desempenho_dm1_c2, n_alt, n_dm);

```

```

desemp_comp_c3=agr_fuz_desemp(bdc_desempenho_dml_c3, n_alt, n_dm);
desemp_comp_c4=agr_fuz_desemp(bdc_desempenho_dml_c4, n_alt, n_dm);
desemp_comp_c5=agr_fuz_desemp(bdc_desempenho_dml_c5, n_alt, n_dm);
%desemp_comp_c6=agr_fuz_desemp(bdc_desempenho_dml_c6, n_alt, n_dm);

%obter medida sintética do desempenho dos fornecedores em relação a
n_crit
med_sint_desemp_c1=obter_med_sintetica_desemp(desemp_comp_c1,n_alt);
med_sint_desemp_c2=obter_med_sintetica_desemp(desemp_comp_c2,n_alt);
med_sint_desemp_c3=obter_med_sintetica_desemp(desemp_comp_c3,n_alt);
med_sint_desemp_c4=obter_med_sintetica_desemp(desemp_comp_c4,n_alt);
med_sint_desemp_c5=obter_med_sintetica_desemp(desemp_comp_c5,n_alt);
%med_sint_desemp_c6=obter_med_sintetica_desemp(desemp_comp_c6,n_alt);

%obter vetor de preferencia dos fornecedores em relação a cada critério
col_pref_desemp_c1=obter_col_pref_desemp(med_sint_desemp_c1, n_alt);
col_pref_desemp_c2=obter_col_pref_desemp(med_sint_desemp_c2, n_alt);
col_pref_desemp_c3=obter_col_pref_desemp(med_sint_desemp_c3, n_alt);
col_pref_desemp_c4=obter_col_pref_desemp(med_sint_desemp_c4, n_alt);
col_pref_desemp_c5=obter_col_pref_desemp(med_sint_desemp_c5, n_alt);
%col_pref_desemp_c6=obter_col_pref_desemp(med_sint_desemp_c6, n_alt);

%compor matriz de preferência
matriz_pref_desemp=zeros(n_alt, n_crit);
for i=1:n_alt
    matriz_pref_desemp(i, 1)=col_pref_desemp_c1(i);
    matriz_pref_desemp(i, 2)=col_pref_desemp_c2(i);
    matriz_pref_desemp(i, 3)=col_pref_desemp_c3(i);
    matriz_pref_desemp(i, 4)=col_pref_desemp_c4(i);
    matriz_pref_desemp(i, 5)=col_pref_desemp_c5(i);
    %matriz_pref_desemp(i, 6)=col_pref_desemp_c6(i);
end
%fim da segunda iteração

% CALCULO DO DESEMPENHO FINAL e ordenação do ranking
ranking=zeros(n_alt,2);
for i=1:n_alt
    for j=1:n_crit
        ranking(i, 2)=i;
        ranking(i, 1)=ranking(i, 1)+matriz_pref_desemp(i,
j)*col_pref_pesos(j);
    end
end
sortrows(ranking(i));

% Exibição dos Resultados

fprintf('..... RANKING DE FORNECEDORES .....'), disp
(' '),
fprintf('|      ALTERNATIVAS      |      Desempenho Final      |'),
disp(' '),
disp(' '),
for i=1:n_alt
    fprintf('|  Fornecedor %2d      |      %2f      |',
ranking(i,2), ranking(i,1)), disp(' '),
end

else
end
end
end

```

2. Função Agregar e fuzzificar pesos dos critérios de decisão

```

function pesos_comp=agr_fuz_pesos(bdc_pesos_dm1, n_objetos, n_dm)

k=(3*n_objetos)-2;
pesos_comp=zeros(3, n_objetos, n_objetos);
w=1; %índice de colunas da matriz comp agregada;

%repetições referentes a índices das matrizes de entrada (i,j)

for i=1:n_objetos
    w=1;
    j=1;
    while j<=k+2
        pesos_comp(1,i,w)=(bdc_pesos_dm1(i, j+1))/n_dm;
        pesos_comp(2,i,w)=(bdc_pesos_dm1(i, j))/n_dm;
        pesos_comp(3,i,w)=(bdc_pesos_dm1(i, j+2))/n_dm;
        j=j+3;%pular as casas de l,m,u;
        w=w+1;%mudar o objeto na matriz resultante;
    end
end

end

```

3. Função Agregar e fuzzificar desempenho dos fornecedores

```

function desemp_comp=agr_fuz_desemp(bdc_desemp_dm1, n_objetos, n_dm)

k=(n_objetos*3)-2;
desemp_comp=zeros(3, n_objetos, n_objetos);
w=1; %índice de colunas da matriz comp agregada;

%repetições referentes a índices das matrizes de entrada (i,j)

for i=1:n_objetos
    w=1;
    j=1;
    while j<=k+2
        desemp_comp(1,i,w)=(bdc_desemp_dm1(i, j+1))/n_dm;
        desemp_comp(2,i,w)=(bdc_desemp_dm1(i, j))/n_dm;
        desemp_comp(3,i,w)=(bdc_desemp_dm1(i, j+2))/n_dm;
        j=j+3;%pular as casas de l,m,u;
        w=w+1;%mudar o objeto na matriz resultante;
    end
end

end

```

4. Função de Verificação do índice de inconsistência

```

function cr=calcular_cr(bd, n_objetos);

bd_crisp=zeros(n_objetos, n_objetos);
x=((n_objetos*3)-2);

%defuzzificação segundo a equação m_crisp=(4m+l+u)/6
for i=1:n_objetos
    w=1;
    j=1;
    while j<=x
        bd_crisp(i,w)=(4*bd(i, j+1)+1*bd(i, j)+1*bd(i, j+2))/6;
        j=j+3;
        w=w+1;
    end
end

end

```



```

% definição da tabela de erro de coerência aleatória (random consistency
index - ri)
ri=zeros(9);
ri(3)=0.52;
ri(4)=0.9;
ri(5)=1.11;
ri(6)=1.25;
ri(7)=1.35;
ri(8)=1.40;
ri(9)=1.45;

% cálculo do autovalor máximo usando média aritmética

multiplicacao_objeto=ones(n_objetos);

media_objeto=zeros(n_objetos);
soma_total=0;

for i=1:n_objetos
    for j=1:n_objetos
        multiplicacao_objeto(i)=multiplicacao_objeto(i)*bd_crisp(i,j);
    end
    media_objeto(i)=multiplicacao_objeto(i)^(1/n_objetos);
    soma_total=soma_total+media_objeto(i);
end

auto_vetor=zeros(n_objetos,1);
for i=1:n_objetos
    auto_vetor(i,1)=media_objeto(i)/soma_total;
end

mat_mult=zeros(n_objetos,1);
temp=zeros(1,n_objetos);
vet_lambidas=zeros(n_objetos);
somat_labidas=0;

for i=1:n_objetos
    for j=1:n_objetos
        temp(1,j)=bd_crisp(i,j);
    end
    mat_mult(i)=temp*auto_vetor;
    vet_lambidas(i)=mat_mult(i)/auto_vetor(i,1);
    somat_labidas=somat_labidas+vet_lambidas(i);
end

auto_valor_max=somat_labidas/n_objetos;

%cálculo do índice de consistência
cr=(auto_valor_max-n_objetos)/((n_objetos-1)*ri(n_objetos));

end

```

5. Função de Cálculo de Medida Sintética do desempenho dos fornecedores

```

function med_sintetica_desemp=obter_med_sintetica_desemp(desemp_comp,
n_objetos)

%somatorio p cada objeto
v_somat_objeto=zeros(3,n_objetos);
for i=1:n_objetos

```

```

for j=1:n_objetos
    v_somat_objeto(1,i)=v_somat_objeto(1,i)+desemp_comp(1,i,j);
    v_somat_objeto(2,i)=v_somat_objeto(2,i)+desemp_comp(2,i,j);
    v_somat_objeto(3,i)=v_somat_objeto(3,i)+desemp_comp(3,i,j);
end
end

%somatorio do total
v_somat_matriz=zeros(3,1,1);
for i=1:n_objetos
    for j=1:n_objetos
        v_somat_matriz(1,1)=v_somat_matriz(1,1)+desemp_comp(1,i,j);
        v_somat_matriz(2,1)=v_somat_matriz(2,1)+desemp_comp(2,i,j);
        v_somat_matriz(3,1)=v_somat_matriz(3,1)+desemp_comp(3,i,j);
    end
end

% cálculo de Si (med sintética de cada objeto i)
med_sintetica_desemp=zeros(3,n_objetos);
for i=1:n_objetos
    med_sintetica_desemp(1,i)=v_somat_objeto(1,i)/v_somat_matriz(1,1,1);
    med_sintetica_desemp(2,i)=v_somat_objeto(2,i)/v_somat_matriz(3,1,1);
    med_sintetica_desemp(3,i)=v_somat_objeto(3,i)/v_somat_matriz(2,1,1);
end

end

```

6. Função de Cálculo de Medida Sintética dos pesos dos critérios

```

function med_sintetica_pesos=obter_med_sintetica_pesos(pesos_comp,
n_objetos)

%somatorio p cada objeto
v_somat_objeto=zeros(3,n_objetos);
for i=1:n_objetos
    for j=1:n_objetos
        v_somat_objeto(1,i)=v_somat_objeto(1,i)+pesos_comp(1,i,j);
        v_somat_objeto(2,i)=v_somat_objeto(2,i)+pesos_comp(2,i,j);
        v_somat_objeto(3,i)=v_somat_objeto(3,i)+pesos_comp(3,i,j);
    end
end

%somatorio do total
v_somat_matriz=zeros(3,1,1);
for i=1:n_objetos
    for j=1:n_objetos
        v_somat_matriz(1,1)=v_somat_matriz(1,1)+pesos_comp(1,i,j);
        v_somat_matriz(2,1)=v_somat_matriz(2,1)+pesos_comp(2,i,j);
        v_somat_matriz(3,1)=v_somat_matriz(3,1)+pesos_comp(3,i,j);
    end
end

% cálculo de Si (med sintética de cada objeto i)
med_sintetica_pesos=zeros(3,n_objetos);
for i=1:n_objetos
    med_sintetica_pesos(1,i)=v_somat_objeto(1,i)/v_somat_matriz(1,1,1);
    med_sintetica_pesos(2,i)=v_somat_objeto(2,i)/v_somat_matriz(3,1,1);
    med_sintetica_pesos(3,i)=v_somat_objeto(3,i)/v_somat_matriz(2,1,1);
end

end

```

7. Função de Cálculo de Vetores de Preferências sobre o desempenho de fornecedores

```
function col_pref_desemp=obter_col_pref_desemp( med_sintetica_desemp,
n_objetos)

% calcular preferencias de cada objeto sobre os demais

v_temp=zeros(1,n_objetos-1);
col_pref_desemp=zeros(1,n_objetos);
x=1;
for i=1:n_objetos
    % i é o objeto principal comparado
    y=1;
    for j=1:n_objetos
        % j são os demais objetos
        if i==j
            else
                if med_sintetica_desemp(1,i)>=med_sintetica_desemp(1,j)
                    v_temp(1,y)=1
                    y=y+1;
                else
                    bloq_negat=(med_sintetica_desemp(2,j)-
med_sintetica_desemp(3,i))/(((med_sintetica_desemp(1,i)-
med_sintetica_desemp(3,i))-(med_sintetica_desemp(1,j)-
med_sintetica_desemp(2,j))));
                    if bloq_negat<0
                        bloq_negat=0;
                    else
                        end
                    v_temp(1,y)=bloq_negat;
                    y=y+1;
                end
            end
        end
    end
    col_pref_desemp(1,x)=min(v_temp);
    x=x+1; %onde x=n_objetos na col de preferencias
end
```

8. Função de Cálculo de Vetores de Preferências sobre o pesos dos critérios

```
function col_pref_pesos=obter_col_pref_pesos( med_sintetica_pesos, n_objetos)

% calcular preferencias de cada objeto sobre os demais

v_temp=zeros(1,n_objetos-1);
col_pref_pesos=zeros(1,n_objetos);
x=1;
for i=1:n_objetos
    % i é o objeto principal comparado
    y=1;
    for j=1:n_objetos
        % j são os demais objetos
        if i==j
            else
                if med_sintetica_pesos(1,i)>=med_sintetica_pesos(1,j)
                    v_temp(1,y)=1;
                    y=y+1;
                else
                    bloq_negat=(med_sintetica_pesos(2,j)-
med_sintetica_pesos(3,i))/(((med_sintetica_pesos(1,i)-
med_sintetica_pesos(3,i))-(med_sintetica_pesos(1,j)-
med_sintetica_pesos(2,j))));
                    if bloq_negat<0
                        bloq_negat=0;
                    end
                end
            end
        end
    end
    col_pref_pesos(1,x)=min(v_temp);
    x=x+1; %onde x=n_objetos na col de preferencias
end
```

```
                else
                end
                v_temp(1,y)=bloq_negat;
                y=y+1;
            end
        end
    end
    col_pref_pesos(1,x)=min(v_temp);
    x=x+1; %onde x=n_objetos na col de preferencias
end
```