UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LUCAS DANIEL DEL ROSSO CALACHE

COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS FUZZY PARA A DECISÃO EM GRUPO
APLICADAS À SELEÇÃO DE FORNECEDORES

São Carlos

2018

LUCAS DANIEL DEL ROSSO CALACHE

COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS FUZZY PARA A DECISÃO EM GRUPO
APLICADAS À SELEÇÃO DE FORNECEDORES

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, como requisito para a obtenção do
Título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão de Operações

Orientador: Prof. Dr. Luiz Cesar Ribeiro
Carpinetti

São Carlos

2018

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

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

C141c Calache, Lucas Daniel Del Rosso
 COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS FUZZY PARA A DECISÃO EM
 GRUPO APLICADAS À SELEÇÃO DE FORNECEDORES / Lucas
 Daniel Del Rosso Calache; orientador Luiz Cesar Ribeiro
 Carpinetti. São Carlos, 2018.

 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, 2018.

 1. seleção de fornecedores. 2. tomada de decisão
 multicritério. 3. conjuntos fuzzy. 4. decisão em grupo.
 5. indústria têxtil. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Bacharel **LUCAS DANIEL DEL ROSSO CALACHE**.

Título da dissertação: "Comparação de técnicas Fuzzy para a decisão em grupo aplicadas à seleção de fornecedores".

Data da defesa: 11/06/2018.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Titular **Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti**
(Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Dr. **Lauro Osíro**
(Universidade Federal do Triângulo Mineiro/UFTM)

APROVADO

Prof. Associado **Ivan Nunes da Silva**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção:

Prof. Associado **Aldo Roberto Ometto**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luís Fernando Costa Alberto**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me dar condições e saúde para poder correr atrás dos meus objetivos e sonhos. Agradeço principalmente pela família que tenho que sempre me deu motivação e suporte em todos os momentos da minha vida.

Sou eternamente grato ao meu pai Ivanhoé Calache e minha mãe Silvia Maria Del Rosso Calache e toda minha família pelo amor, carinho e apoio.

Ao meu orientador Professor Doutor Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti por toda atenção, paciência, motivação e ensinamentos.

Aos meus amigos por dividirem os momentos de alegria, descontração, compartilhamento de ideias, motivação e crescimento pessoal e profissional. Em especial, quero agradecer ao André Cervi, Nadya Galo e Carolina Belloti por serem grandes amigos e companheiros do grupo de pesquisa. As minhas amigas e companheira de bancada Ana Carolina Bertassini, Fernanda Iwasaka, Júlia Vacilotto e Ana Laura Pavan e aos meus novos amigos Lucas Zanon e Rafael Arantes. A todos os amigos do departamento que compartilharam momentos e experiências.

Às secretárias e técnicos do departamento de engenharia de produção que sempre são pacientes e prestativos.

Aos meus Professores doutores Lauro Osiro e Victor Camargo pelo apoio e recomendações para iniciar o mestrado.

Aos Professores Francisco Herrera e Rosana Montes pela orientação, recepção e oportunidades de parcerias na Universidade de Granada.

À CAPES e FAPESP (processo: 2016/18807-6) pelo apoio financeiro.

*“It's not about getting on top of the world
knowing that you won*

*It's about the climbing and feeling that that
way has made you strong”*

Ana Vilela - Bullet Train.

RESUMO

CALACHE, L. D. D. R. **Comparação de técnicas fuzzy para a decisão em grupo aplicadas à seleção de fornecedores.** 2018. 147 f. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

A seleção de fornecedores é uma atividade extremamente importante para o desenvolvimento estratégico das organizações. Nessa atividade, vários critérios, alternativas e tomadores de decisão devem ser considerados no processo de tomada de decisão, o que pode trazer complexidade ao processo. Várias técnicas multicritérios são utilizadas para a avaliação e seleção de fornecedores; porém as técnicas baseadas na teoria *fuzzy* vêm sendo amplamente aplicadas devido à sua capacidade de modelar incertezas das avaliações dos tomadores de decisão. Entretanto, poucas técnicas são capazes de tratar adequadamente o processo de tomada de decisão em grupo. Desta maneira, esta dissertação de mestrado tem como objetivo estudar e comparar técnicas baseadas na teoria *fuzzy* para tomadas de decisão em grupo, aplicadas à seleção e avaliação de fornecedores. A proposta limita o estudo às técnicas baseadas nas representações *hesitant fuzzy*, *intuitionistic fuzzy* e suas variações intervaladas. O estudo inclui quatro fases: revisão sistemática de literatura; modelagem computacional das técnicas; aplicação das técnicas implementadas e análise dos resultados, incluindo análise comparativa entre as técnicas. A implementação das técnicas seguiu um modelo proposto de tomada de decisão em grupo, considerando as particularidades das representações *fuzzy* usadas. Foi realizada uma aplicação piloto na seleção de fornecedores em uma indústria de fiação têxtil. Os resultados foram analisados quanto à sua congruência, adequação para decisão em grupo, interação com o usuário, complexidade computacional e capacidade de modelar incertezas. Como resultado, observou-se que as parametrizações, hesitações, e imprecisões adicionais interferem diretamente nos resultados. Além disso, são apontadas vantagens e desvantagens da utilização das representações para os critérios de comparação analisados.

Palavras-chave: seleção de fornecedores, tomada de decisão multicritério, conjuntos *fuzzy*, decisão em grupo, indústria têxtil.

ABSTRACT

CALACHE, L. D. D. R. **Comparing fuzzy techniques for group decision making in supplier selection**. 2018. 147 f. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

The supplier selection is an important activity that contributes for the organizations' strategic development. In this activity, several criteria, alternatives and decision makers must be considered in the decision-making process, which can bring complexity to the process. Several multi-criteria techniques are used to evaluate and select suppliers; but techniques based on fuzzy theory have been widely applied because of their ability to model uncertainties in decision making evaluations. However, few techniques are able to adequately manage the group decision making process. In this way, this research aims to study and compare techniques based on fuzzy set theory for group decision making processes, applied to supplier selection. The proposal of this study is limited to the fuzzy representations hesitant fuzzy, intuitionistic fuzzy and their interval-valued generalization. This research's development includes four phases: a systematic literature review; computational modeling; application of the implemented techniques and analysis of the results, including comparative analysis of the techniques. The implementation of the techniques followed a proposed model of group decision making, considering the particularities of the fuzzy representations used. A pilot application was developed in the supplier selection problem in a textile spinning industry. The results were analyzed for their congruence, suitability for group decision, interaction with the user, computational complexity and the ability to model uncertainties. As a result, it has been observed that the parameterizations, hesitations, and the different inaccuracies directly interfere with the results. In addition, advantages and disadvantages of using the representations for the analyzed comparison criteria are pointed out.

Keywords: Supplier selection, Mult-criteria decision making, Fuzzy set, Group decision, Textile industry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fases do desenvolvimento do projeto.	29
Figura 2: Processo de seleção de fornecedores	34
Figura 3: Número de publicações relacionado à seleção de fornecedores e tomado de decisão em grupo ao longo dos anos.	44
Figura 4: Técnicas MCDM aplicadas à seleção de fornecedores.	45
Figura 5: Representações utilizadas na decisão em grupo aplicada à seleção de fornecedores.	46
Figura 6 - Número de publicações por país.	46
Figura 7: Número <i>fuzzy</i> triangular.	52
Figura 8: Número <i>fuzzy</i> trapezoidal.	53
Figura 9: Representação das avaliações utilizadas no HFS.	63
Figura 10: Estrutura de tomada de decisão em grupo para seleção de fornecedores.	77
Figura 11- Modelo <i>fuzzy</i> para avaliação dos critérios.	98
Figura 12 - Modelo <i>fuzzy</i> para avaliação dos do desempenho das alternativas.	98
Figura 13: Grafo de preferência entre os fornecedores.	104
Figura 14: gráfico com o número de operações das técnicas intuicionistas.	119
Figura 15: gráfico com o número de operações das técnicas intuicionistas.	121

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 : Framework para seleção de fornecedores segundo categorização.	36
Quadro 2: Critérios para seleção e avaliação de fornecedores.	38
Quadro 3: Técnicas multicritério de tomada de decisão em grupo para seleção de fornecedores.....	40
Quadro 4: Técnicas multicritério híbridas de tomada de decisão em grupo para seleção de fornecedores.....	43
Quadro 5: Número de publicações de acordo com os periódicos.	47
Quadro 6: Expressões linguísticas utilizadas.....	66
Quadro 7: Conjuntos de termos linguísticos <i>hesitant fuzzy</i>	66
Quadro 8: Operadores de agregação utilizados na representação <i>Intuitionistic fuzzy</i>	69
Quadro 9: Operadores de agregação utilizados na representação <i>Interval-valued Intuitionistic fuzzy</i>	71
Quadro 10: Operadores de agregação para a representação <i>hesitant fuzzy</i>	72
Quadro 11: Operadores de agregação para a representação <i>Interval-valued Hesitant fuzzy</i>	72
Quadro 12: Critérios utilizados para avaliação de fornecedores de algodão.....	83
Quadro 13: termos linguísticos utilizados para avaliação da importância dos critérios.....	84
Quadro 14: termos linguísticos utilizados para avaliação do desempenho das alternativas. ...	85
Quadro 15: avaliação da importância dos critérios utilizando avaliação hesitante.	99
Quadro 16: avaliação do desempenho das alternativas utilizando avaliação hesitante.....	99
Quadro 17: resultados da ordenação das diferentes representações estudadas e implementadas.	106
Quadro 18 - resultados da ordenação das diferentes representações estudadas aplicando somente a avaliação sem hesitação.....	107
Quadro 19: ordenação para os cenários analisados nas diferentes parametrizações do IF.....	108
Quadro 20: ordenação para os cenários analisados nas diferentes parametrizações do IvIF .	110
Quadro 21: Avaliações hesitantes supondo um cenário com grande divergência.....	112
Quadro 22: ordenação para os cenários analisados com grande divergência.	113
Quadro 23: Síntese dos resultados da comparação entre as técnicas com diferentes representações fuzzy.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: pesos dos tomadores de decisão na aplicação piloto.	84
Tabela 2: números <i>fuzzy</i> intuicionistas para avaliação dos critérios.	87
Tabela 3: números <i>fuzzy</i> intuicionistas para avaliação do desempenho das alternativas.	88
Tabela 4: Avaliações dos pesos dos critérios segundo os decisores.....	89
Tabela 5: Avaliações do desempenho dos fornecedores em cada critério.	89
Tabela 6: resultado agregado dos pesos dos critérios.....	89
Tabela 7: resultado agregado do desempenho das alternativas.	91
Tabela 8: resultado agregado e ponderados do desempenho das alternativas.....	91
Tabela 9: vetores de solução <i>fuzzy</i> intuicionista ideal positiva e negativa.	92
Tabela 10: distâncias entre os resultados dos valores agregados e ponderados e os vetor de solução <i>fuzzy</i> ideal positiva.....	92
Tabela 11: distâncias entre os resultados dos valores agregados e ponderados e o vetor de solução <i>fuzzy</i> ideal negativa.....	93
Tabela 12: cálculo do coeficiente de proximidade e ordenação das alternativas.	93
Tabela 13: números IvIF e os termos linguísticos associados.....	94
Tabela 14: avaliação do desempenho dos fornecedores em cada critério e os números IvIF equivalentes.	96
Tabela 15: resultado agregado do desempenho das alternativas nos critérios e os números IvIF equivalentes.	97
Tabela 16: resultado agregado e ponderado do desempenho das alternativas e os números IvIF equivalentes.	97
Tabela 17: resultado do cálculo do índice de conhecimento e ordenação das alternativas.	97
Tabela 18: peso calculado para os critérios.	100
Tabela 19: avaliação agrupada do desempenho das alternativas utilizando avaliação hesitante.	100
Tabela 20: pontuação global do desempenho dos fornecedores e ordenação.	101
Tabela 21: variáveis linguísticas utilizadas e os números IvHF equivalentes.....	102
Tabela 22: avaliação agrupada do desempenho das alternativas utilizando avaliação IvHF.	103
Tabela 23: resultados calculados segundo o grau de preferência entre os fornecedores.....	104
Tabela 24: cenários de parametrização do <i>intuitionistic fuzzy</i>	108
Tabela 25: cenários de parametrização do <i>interval-valued intuitionistic fuzzy</i>	110
Tabela 26: Avaliações intuicionistas supondo um cenário com grande divergência.	111
Tabela 27: número de operações de acordo com a variação dos parâmetros nas representações intuicionistas.....	118
Tabela 28: número de operações de acordo com a variação dos parâmetros para as representações hesitantes.....	120

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - Analytic Hierarchy Process.

ANP - Analytic network process.

AIvIFS -Arithmetical Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Shapley.

CWA -Compensative Weighted Averaging.

CIOWA -Compensative Induced Ordered Weighted Averaging.

COWA -Compensative Ordered Weighted Averaging.

DIFOWA - Dependent Intuitionistic Fuzzy Ordered Weighed Averaging Operator.

DIFHWA - Dependent Intuitionistic Fuzzy Hybrid Weighed Aggregation Operator.

DHFWHM -Dual Hesitant Fuzzy Weighted Heronian Mean Operator.

GDM -Group Decision Making.

GIHFWG -Gneralized Intuitionistic-valued Hesitant Fuzzy Weighted Geometric Operator.

HF- Hesitant Fuzzy.

HFE - Hesitant Fuzzy Element.

HFS - Hesitante Fuzzy Sets.

HFLTS -Hesitant Fuzzy Linguistic Terms Set.

HFWA - Hesitant Fuzzy Weighted Averaging Operator.

HFWG - Hesitant Fuzzy Weighted Geometric Operator.

HVI - High Volume Instrument.

IHFWG - Intuitionistic-valued Hesitant Fuzzy Weighted Geometric Operator.

IIOWA - Intuitionistic Induced Ordered Weighted Averaging.

IFWA - Intuitionistic fuzzy weighted averaging operator.

IFWAO - Intuitionistic Fuzzy Weighted Average Ordered.

IF - Intuitionistic Fuzzy.

IFN - Intuitionistic Fuzzy Number.

IIFEHA - intuitionistic fuzzy Einstein hybrid aggregation operator.

ITrFLWA - intuitionistic trapezoid fuzzy linguistic weighted average.

ITrFLOWA - intuitionistic trapezoid fuzzy linguistic ordered weighted average.

ITrFLHWA - intuitionistic trapezoid fuzzy linguistic hybrid weighted average.

ITWHM - Interval 2-tuple Weighted Harmonic Mean.

IVITFGWBM - Interval-valued Intuitionistic Trapezoidal Fuzzy Geometric Weighted Bonferroni Mans Operator.

IvHF - Interval-valued Hesitant Fuzzy.

IvHFS - Interval-valued Hesitant Fuzzy.

IvHFWA - Interval-valued Hesitant Fuzzy Weighted Average

IvHFG - Interval-valued Hesitant Fuzzy Geometric.

IvIF - Interval-valued Intuitionistic Fuzzy.

IvIFS - Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Set.

IvIFN - Interval-valued Fuzzy Number.

IvIFPWA - Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Power Weighted Average Operator.

IvIFWA - Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Weighted Arithmetic Aggregation.

IvIFWGA - Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Weighted Geometric Aggregation.

IVITFGWBM - Interval-valued Intuitionistic Trapezoidal Fuzzy Geometric Weighted Bonferroni Means.

IvHFG - Interval-valued Hesitant Fuzzy Geometric Operator.

LINMAP - Linear Programming Technique for Multidimensional Analysis of Preferences.

MAUT - Multi-attribute Utility.

MCDM - Multi-Criteria Decision Making.

Ne – Número de meadas com 840 jardas pesando 1 libra.

Neps - Pequenas aglomerações de fibras emaranhadas.

OWA - Ordered Weighted Averaging.

QFD - Quality Function Deployment.

TIFBM -Triangular Atanassov's intuitionistic fuzzy Bonferroni mean.

TIFWBM -Triangular Atanassov's intuitionistic fuzzy weighted Bonferroni mean.

Trade - Assessores de compra e vendas, voltados para o mercado agro industrial.

TrIFPG - Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Power Geometric.

TrIFPWG - Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Power Weighted Geometric.

TrIFPOWG - Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Power Ordered Weighted Geometric.

TrIFPHG - Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Power Hybrid Geometric.

WIOWA -Weighted Induced Generalized Ordered Weighted Averaging.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
1.1 Contextualização e lacunas de pesquisa	23
1.2 OBJETIVOS	26
1.3 JUSTIFICATIVA	27
1.4 MÉTODOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	28
1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO	30
2. SELEÇÃO DE FORNECEDORES	33
2.1 VISÃO DO PROCESSO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES	33
2.2 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO E AVALIAÇÃO DE FORNECEDORES	36
2.3 TÉCNICAS DE DECISÃO EM GRUPO APLICADAS À SELEÇÃO DE FORNECEDORES.....	39
3. TÉCNICAS FUZZY DE DECISÃO EM GRUPO	49
3.1. TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY	51
3.1.1. <i>Definições fundamentais fuzzy</i>	52
3.1.2. <i>Operações algébricas com números fuzzy</i>	54
3.2. INTUITIONISTIC FUZZY.....	54
3.2.1. <i>Definições Básicas do Intuitionistic Fuzzy</i>	55
3.2.2. <i>Intuitionistic fuzzy aplicado à tomada de decisão</i>	56
3.3. INTERVAL-VALUED INTUITIONISTIC FUZZY	59
3.4. HESITANT FUZZY SETS	62
3.4.1. <i>Definições básicas do Hesitante Fuzzy Set</i>	64
3.4.2. <i>Hesitant fuzzy aplicado à tomada de decisão</i>	65
3.5. INTERVAL-VALUED HESITANT FUZZY (IVHFS)	66
3.6. OPERADORES DE AGREGAÇÃO FUZZY.....	68
3.6.1. <i>Operador de agregação IFWA</i>	73
3.6.2. <i>Operador de agregação IvIFWA</i>	74
3.6.3. <i>Operador de agregação HFWA</i>	74
3.6.4. <i>Operador de agregação IvHFWA</i>	75
4. APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS FUZZY PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES NA INDÚSTRIA TÊXTIL	77
4.1. PROCESSO DE DECISÃO EM GRUPO BASEADO EM TÉCNICAS FUZZY	77
4.2. INDÚSTRIA TÊXTIL.....	79
4.3. CASO DE APLICAÇÃO PILOTO	81
4.3.1. <i>Critérios para avaliação dos fornecedores de algodão</i>	82

4.3.2.	<i>Procedimento de coleta de dados para aplicação das técnicas</i>	83
5.	RESULTADO DAS APLICAÇÕES DAS TÉCNICAS FUZZY GDM	87
5.1.	APLICAÇÃO DO INTUITIONISTIC FUZZY	87
5.2.	APLICAÇÃO DO INTERVAL-VALUED INTUITIONISTIC FUZZY	94
5.3.	APLICAÇÃO DO <i>HESITANT FUZZY</i>	98
	Figura 11- Modelo <i>fuzzy</i> para avaliação dos critérios.	98
5.4.	APLICAÇÃO DO <i>INTERVAL-VALUED HESITANT FUZZY</i>	102
6.	COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS FUZZY GDM	105
6.1.	ANÁLISE DE CONGRUÊNCIA NA APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS	106
6.1.1.	<i>Resultados com a variação dos pesos dos decisores</i>	106
6.1.2.	<i>Resultados para julgamentos sem hesitação</i>	107
6.1.3.	<i>Resultado para a variação dos parâmetros do IF</i>	107
6.1.4.	<i>Resultado para variação dos parâmetros no IvIF</i>	108
6.1.5.	<i>Resultado para situação com grande divergência de julgamentos</i>	111
6.1.6.	<i>Síntese da análise geral sobre a congruência dos resultados</i>	113
6.2.	ADEQUAÇÃO À TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO	114
6.3.	INTERAÇÃO COM OS USUÁRIOS	115
6.4.	COMPLEXIDADE COMPUTACIONAL	116
6.5.	CAPACIDADE DE MODELAR INCERTEZAS	121
6.6.	SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA COMPARAÇÃO	122
7.	CONCLUSÃO	125
7.1.	RESULTADOS OBTIDOS	125
7.2.	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	127
7.3.	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	128
	REFERÊNCIAS	130

1. INTRODUÇÃO

O preâmbulo desta dissertação tem por objetivo introduzir o tema abordado, bem como apresentar seu desenvolvimento, propósito e motivação. Desta forma, o Capítulo está organizado segundo as seguintes seções: a Seção 1.1 apresenta a contextualização do tema abordado e as lacunas de pesquisa identificadas na literatura; na Seção 1.2, os objetivos de pesquisa são brevemente levantados; Seção 1.3 ostenta uma breve justificativa do desenvolvimento do projeto; a Seção 1.4 retrata os métodos aplicados para a realização do projeto; e na Seção 1.5, é exibida a estruturação da dissertação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E LACUNAS DE PESQUISA

A tomada de decisão representa um processo altamente complexo em basicamente todos os níveis da gestão da cadeia de suprimentos, sendo que a seleção e avaliação de fornecedores constitui uma questão central na busca pelo melhor desempenho (SODENKAMP; TAVANA; CAPRIO, 2016). A gestão de fornecedores é uma atividade que contribui para a melhoria da eficácia e eficiência de cadeias produtivas. O gerenciamento de fornecedores inclui basicamente as atividades de seleção, avaliação e desenvolvimento. Vários estudos salientam o impacto da seleção e avaliação de fornecedores no custo e na qualidade de produtos manufaturados (AMORIM *et al.*, 2016; ALAMRI; HARRIS; SYNTETOS, 2015; LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015). Dessa forma, as empresas compradoras passaram a ter a seleção e avaliação de fornecedores como uma das atividades essenciais para alcançar bom desempenho e maior competitividade da empresa e de sua cadeia de suprimentos como um todo (KARSAK; DURSUN, 2013; DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001).

A seleção e avaliação de fornecedores envolvem processos de decisão complexos, pelo fato de vários critérios, alternativas e decisores serem considerados no processo de tomada de decisão. Além disso, há incertezas sobre os julgamentos dos decisores ou incerteza inerente aos dados disponíveis para avaliação (LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015). Assim, este processo decisório deve ser tratado como um problema de tomada de decisão multicritério (MCDM). Por meio de modelos apropriados de suporte à decisão, os fornecedores são avaliados e recebem pontuações com base no processo de avaliação e

ponderação estabelecidas para cada atributo ou critério relacionado ao problema (THIRUCHELVAM; TOOKEY, 2011).

A literatura sobre aplicação de técnicas multicritérios para seleção e avaliação de fornecedores é bastante extensa. É possível observar diversas técnicas multicritérios utilizadas para seleção e avaliação de fornecedores, tais como: AHP (TSUI, WEN, 2014; KAR, 2015; LIU *et al.*, 2008), QFD (KARSAK, DURSUN 2015; KARSAK, DURSUN 2014), AHP-QFD (SCOTT *et al.*, 2015), MAUT (SANAYEI *et al.*, 2010), *Fuzzy* AHP (AYDIN, KAHRAMAN, 2014; HASHEMIAN *et al.*, 2014), *Fuzzy* TOPSIS (BÜYÜKÖZKAN, ARSENYAN, 2009), *Fuzzy* QFD (DURSUN, KARSAK 2013), *Fuzzy* ANP (GOVINDARAJU *et al.*, 2015), *Fuzzy* Dematel (DALALAH; HAYAJNEH; BATIEHA, 2011), entre outros.

Dentre as técnicas observadas, as baseadas na teoria *fuzzy*, proposta por Zadeh (1965), vem sendo amplamente utilizada em problemas de seleção e avaliação, por serem adequadas para situações em que há dados incompletos, e/ou julgamentos subjetivos, que necessitam ser modelados matematicamente para traduzir as preferências dos tomadores de decisão (ABDULLAH, 2013). Segundo uma revisão sistemática realizada por Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2013), entre os anos de 2002 até 2012, os métodos que utilizam a abordagem *fuzzy* foram os mais utilizados nos problemas de seleção e avaliação de fornecedores, além de apresentar um grande potencial de crescimento de pesquisas na área.

Apesar de vários estudos considerarem mais de um tomador de decisão, poucos são os trabalhos que tratam de forma adequada à tomada de decisão em grupo, ou que discutem a aplicação de técnicas específicas para a decisão em grupo em seleção e avaliação de fornecedores. A fim de evitar a parcialidade causada pelo julgamento de um único indivíduo, métodos de decisão em grupo devem ser aplicados para integrar diferentes opiniões e alcançar melhores decisões para o desenvolvimento da organização. Além disso, existem incertezas inerentes aos julgamentos dos decisores, ou imprecisão nos dados devido a dados qualitativos. Sendo assim, o processo de tomada de decisão pode ser tratado como um problema multicritério fuzzy de tomada de decisão em grupo (Fuzzy Multi-Criteria Group Decision-Making problem- FMCGDM) (WANG, LEE, 2007).

Técnicas de decisão em grupo baseadas em teoria *fuzzy* vem sendo propostas na literatura a fim de agregar as opiniões de diferentes especialistas. Comparado com a tomada de decisão individual, a tomada de decisão em grupo é mais representativa da visão da

organização sobre o problema, favorecendo uma visão mais sistêmica (CHEN; WANG; LU, 2011). As questões de tomada de decisão em grupo foram discutidas e aplicadas em vários problemas de seleção e avaliação de fornecedores, tais como avaliação de empresas de venda online (KUMAR; CLAUDIO, 2016), seleção de fornecedores verdes (CELIK; ERDOGAN; GUMUS, 2016; ZHANG *et al.*, 2016; GOVINDAN; SIVAKUMAR, 2016), indústria de alimentos (CAKIR, 2016), operadores logísticos (CELIK; GUMUS; ERDOGAN, 2016; WANG E LV, 2015), projetos de usinas hidráulicas (FAN *et al.*, 2016), seleção de investimentos (ESANGBEDO; CHE, 2016), sistema de informação e tecnologia (LI e CHOU, 2014), seleção de equipamentos de irrigação (DRAGINCIC; VRANESEVIC, 2014) entre outras aplicações que reforçam a importância do estudo das técnicas de decisão em grupo que estão cada vez mais presentes em todos os níveis da gestão dos processos.

Pesquisa realizada nas bases *Scopus* e *Web of Science* com a combinação dos termos *supplier selection AND group decision* nos tópicos dos artigos, retornou 178 títulos diferentes. Segundo os resultados das pesquisas, as utilizações de técnicas de inteligência artificial, baseadas em teorias *fuzzy*, são as mais utilizadas, representando 81 % das técnicas utilizadas. Essas técnicas buscam modelar o problema de seleção e avaliação de fornecedores de forma que todos os critérios e especialistas disponíveis sejam utilizados para alcançar uma decisão mais eficaz e eficiente para a cadeia de suprimentos.

As técnicas propostas na literatura utilizam representações *fuzzy* específicas que buscam lidar com o problema de tomada de decisão em grupo. Representações que se enquadram nessa categoria frequentemente encontradas na literatura são: *Intuitionistic fuzzy sets* (NGUYEN, 2016; EBRAHIMNEJAD *et al.*, 2015; LI *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2013; WEN; XU; WANG, 2013; IZADIKHAH, 2012), *Hesitant Fuzzy* (GITINAVARD *et al.*, 2016; RODRIGUEZ; MARTINEZ; HERRERA, 2013), *Fuzzy 2-tuple* (KARSAK E DURSUN, 2015; WANG, 2010), dentre outras representações e propostas de técnicas que visam favorecer a agregação de julgamentos, como média ponderada, voto, escolha social, ordenação pelo grau de dominância, entre outras (ALMEIDA *et al.*, 2012).

Apesar das abordagens baseadas nas representações *Intuitionistic Fuzzy* e *Hesitant Fuzzy* já serem bastante difundidas, poucas são as aplicações em seleção e avaliação de fornecedores. Por exemplo, Wang e Hongbo (2015) apresenta um modelo de seleção de fornecedores considerando decisão em grupo em serviços logísticos e baseados nos conjuntos do *Intuitionistic Fuzzy*. Além de serem escassos os estudos que relatam aplicações dessas técnicas de decisão em grupo para a seleção e avaliação de fornecedores,

não foram encontrados estudos comparativos aplicados à seleção e avaliação de fornecedores.

Esta pesquisa de mestrado pretende explorar essa lacuna identificada na literatura, propondo o estudo de algumas dessas representações e uma análise comparativa entre elas. A bibliografia fundamental que orienta a aplicação desta pesquisa é composta por três partes principais: seleção e avaliação dos fornecedores; técnicas *fuzzy* de tomada de decisão em grupo aplicadas a seleção de fornecedores; e a importância da seleção e avaliação dos fornecedores para indústria têxtil.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é comparar técnicas baseadas na teoria *fuzzy* para tomadas de decisão em grupo aplicadas à seleção de fornecedores. Esta dissertação de mestrado limita o estudo às representações *Hesitant Fuzzy*, *Intuitionistic Fuzzy*, *Interval-valued Hesitant Fuzzy* e *Interval-valued Intuitionistic Fuzzy*. Além disso, é proposto o desenvolvimento de uma aplicação dessas técnicas para avaliação de fornecedores em uma empresa do setor têxtil e que pode ser estendido à demais aplicações no processo de seleção e avaliação de fornecedores.

Esse objetivo geral pode ser desdobrado nos seguintes objetivos específicos:

- I) Levantamento bibliográfico mais aprofundada sobre as técnicas e representações *fuzzy* a serem estudadas, com foco em decisão em grupo;
- II) Estudo e implementação das técnicas e representações escolhidas;
- III) Aplicação piloto das técnicas implementadas em uma indústria da região de São Carlos, na qual a seleção e a avaliação dos fornecedores de matéria prima são tidas como essenciais para alcançar os objetivos de produção.
- IV) Análise comparativa entre as técnicas e representações *fuzzy* selecionadas e implementadas, com o objetivo de identificar vantagens e desvantagens entre elas, favorecendo a replicação em futuros trabalhos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o campo de pesquisa relacionado com a aplicação de métodos quantitativos em gestão de fornecedores apresenta um grande potencial de inovação e crescimento de publicações acadêmicas. Diversas são as técnicas propostas na literatura que buscam subsidiar a tomada de decisão dentro do gerenciamento da cadeia de suprimentos. Segundo Tan, Wu e Ma (2011), poucos trabalhos apresentam aplicações com tomada de decisão em grupo. De acordo com Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2013), o número de pesquisas sobre métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores vem crescendo significativamente ao decorrer dos anos, com várias técnicas, representações de julgamentos e modelos de tomada de decisão sendo propostas e estudadas.

Como já observado, uma forte tendência é o uso de técnicas baseadas nas teorias *fuzzy*, que auxiliam no tratamento matemático de incertezas no processo de seleção e avaliação de fornecedores. No entanto, muitos dos estudos, apesar de considerar múltiplos decisores, não tratam adequadamente a agregação de diferentes julgamentos. Como decisões conflitantes, se não bem trabalhadas pelo método adotado, podem comprometer o resultado final, a evolução do conhecimento nessa área requer mais atenção às técnicas com representações adequadas para decisão em grupo. Segundo Wang, Zeng e Wang (2013), a agregação de informações fornecidas pelos especialistas é fundamental para a resolução adequada de problemas multicritério, sendo assim, a representação e agregação de informações *fuzzy* tem recebido cada vez mais atenção nos últimos anos.

Outra justificativa para a realização deste projeto é a aplicação dessas técnicas em uma indústria têxtil, setor da economia brasileira de grande relevância. De um modo geral, Sardar, Lee e Memon (2016) observam uma carência na análise e gerenciamento dos fornecedores da cadeia de suprimentos têxtil. Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (Abit), a indústria têxtil brasileira foi responsável por uma receita em torno de R\$ 112,8 bilhões em 2015. Esse setor emprega cerca de 1,5 milhões de pessoas nas indústrias, sendo que as fábricas de fiação empregam aproximadamente 80 mil trabalhadores. Cerca de 8 milhões de trabalhadores brasileiros estão envolvidos diretamente ou indiretamente com a cadeia de suprimentos têxtil. A indústria têxtil brasileira é o segundo maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para alimentos e bebidas (considerados conjuntamente). O país é, ainda, a última cadeia têxtil completa do ocidente, ou seja, somente o Brasil possui desde a produção das fibras,

como plantação de algodão, até os desfiles de moda, passando por fiações, tecelagens, beneficiadoras, confecções e forte varejo.

Apesar do presente projeto propor uma aplicação das técnicas estudadas com as variações de representação *fuzzy* em uma indústria têxtil, espera-se que o framework proposto possa ser replicado nos demais setores industriais. Desta forma, um modelo genérico de aplicação destas técnicas *fuzzy* será apresentado com o enfoque na tomada de decisão em grupo na seleção de fornecedores.

1.4 MÉTODOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

O projeto de pesquisa proposto pode ser caracterizado como quantitativa axiomática descritiva. A pesquisa é axiomática devida sua fundamentação teórica realizada por meio da revisão da literatura que possibilitará a construção do modelo de tomada de decisão. Diz-se descritiva, pois as relações que compõem o modelo são descritas com bases de regras de técnicas *fuzzy* de tomada de decisão (BERTRAND; FRANSOO, 2002). O desenvolvimento da pesquisa se constitui de quatro fases que serão detalhadas a seguir: revisão sistemática e exploratória da literatura; modelagem computacional; aplicação das técnicas em um estudo de caso piloto e análise dos resultados, incluindo análise comparativa entre as técnicas. A Figura 1 sintetiza a sequência do desenvolvimento deste projeto de mestrado.

A pesquisa compreende uma revisão exploratória e sistemática da literatura sobre os seguintes temas: seleção de fornecedores, e técnicas multicritério de tomada de decisão em grupo. A revisão de literatura é realizada por meio de acesso às bases de dados, no qual serão realizadas buscas por artigos científicos e livros sobre o tema de pesquisa. Desta forma, as seguintes bases de dados são utilizadas: *Scopus* e *Web of Science*, já que ambas possuem vasto acervo sobre temas correlatos à Gestão de Operações. As buscas compreendem *strings* que buscam retornar pesquisas relevantes e atuais sobre o tema dentro de um intervalo de tempo, considerando que as palavras-chaves foram escolhidas de acordo com os objetivos da pesquisa.

Figura 1: Fases do desenvolvimento do projeto.

Fonte: Própria autoria.

O levantamento bibliográfico sobre os temas em questão ajudou a identificar lacunas de pesquisa e integração dos temas que devem ser aprofundados. Segundo Tranfiel, Denyer e Smart (2003), na pesquisa de gestão, o processo de revisão da literatura pode ser considerado um instrumento chave, utilizado para gerenciar a diversidade de conhecimento para uma investigação acadêmica específica. Sendo assim, o objetivo de realizar uma revisão da literatura é viabilizar o mapeamento e avaliação do território intelectual existente, sendo possível especificar uma questão de pesquisa e suas limítrofes para desenvolver o conhecimento existente.

A segunda etapa da pesquisa abrange o estudo e implementação das técnicas baseadas na teoria *fuzzy*, com os softwares EXCEL[®] e MATLAB[®]. Nesta fase, as técnicas foram detalhadas e os operadores de agregação selecionados para viabilizar a comparação entre as técnicas.

Na terceira fase, é proposta uma aplicação piloto dos métodos baseados em teoria *fuzzy* em uma indústria do setor têxtil. A escolha da empresa ocorreu por conta desta ser pertencente a um importante setor da economia nacional, além de apresentar contribuição para o desenvolvimento regional, sendo referência de qualidade no país. Além disso, é uma empresa de grande porte que possui práticas de gestão de fornecedores bem estabelecidas. A coleta de dados será realizada por meio de aplicação de um questionário estruturado, que apresentará variáveis linguísticas a fim de auxiliar a avaliação e seleção de fornecedores. Os seguintes colaboradores serão entrevistados: diretor de operações, gerente de produção

e dois gerentes de qualidade. Tais colaboradores foram escolhidos devido à experiência prévia e proximidade com o processo de tomada de decisão em gestão de fornecedores.

Finalmente, a última fase do projeto contempla a análise e avaliação dos resultados da aplicação das técnicas selecionadas no estudo de caso. De um modo geral, as técnicas estudadas serão avaliadas quanto à:

- Adequação à tomada de decisão em grupo;
- Interação com usuário;
- Complexidade computacional;
- Capacidade de modelagem da incerteza.

Além disso, no que se refere aos resultados da aplicação dessas técnicas em um caso na indústria têxtil, a análise dos resultados será feita a partir da opinião dos especialistas sobre a adequabilidade de tais métodos para o problema proposto. Sobre a comparação das técnicas, a análise será feita com base em dois aspectos:

- I) Análise da congruência ou incongruência dos resultados obtidos com as diferentes técnicas;
- II) Análise das dificuldades ou vantagens/benefícios na aplicação das diferentes técnicas.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

A presente dissertação está organizada conforme a descrição a seguir. No primeiro capítulo, o preâmbulo apresenta o contexto atual na qual a pesquisa está inserida e que se faz necessária à aplicação de novos estudos para o preenchimento de lacunas identificadas na literatura. Em seguida são apresentados os objetivos almejados com o desenvolvimento do projeto de mestrado. Uma justificativa é apresentada para intensificar a importância do estudo das técnicas de decisão multicritério na tomada de decisão em grupo, e a aplicação do estudo de caso em um importante setor da economia brasileira. Os métodos para o desenvolvimento do estudo buscam orientar os passos que foram utilizados para cumprir os objetivos propostos.

O Capítulo 2 busca apresentar inicialmente uma parte da revisão bibliográfica exploratória acerca do processo de seleção de fornecedores, promovendo uma visão do processo de tomada de decisão e explorando trabalhos clássicos da literatura. Em seguida, uma revisão sistemática é realizada com o propósito de identificar as técnicas mais utilizadas na tomada de decisão em grupo para seleção de fornecedores, e assim, tornar o desenvolvimento da pesquisa mais robusta.

Embasado nos resultados das pesquisas apresentadas no capítulo anterior, o Capítulo 3 é composto por uma revisão exploratória acerca das técnicas *fuzzy* de tomada de decisão em grupo. As técnicas *Intuitionistic Fuzzy*, *Hesitant Fuzzy*, *Interval-valued Intuitionistic Fuzzy*, *Interval-valued Hesitant Fuzzy* são apresentadas, bem como seus operadores de agregação que podem ser utilizados para integrar todas as avaliações individuais dos especialistas.

O Capítulo 4 compreende a aplicação das técnicas previamente apresentadas. Nesta seção, uma estrutura de tomada de decisão orienta a aplicação piloto das técnicas em uma indústria de fiação da cadeia de suprimentos têxtil. É realizada uma descrição da empresa que receberá o estudo de caso e também, são definidos os critérios para que seja realizada a aplicação e comparação entre as técnicas.

O Capítulo 5 exhibe os resultados obtidos na aplicação das técnicas de tomada de decisão em grupo baseadas nas representações *fuzzy*. Para cada técnica são demonstrados os dados coletados, modelagem dos números fuzzy, resultados intermediários e finalmente a ordenação dos resultados.

No Capítulo 6 é realizada a comparação entre as técnicas segundo os parâmetros de congruência dos resultados; avaliação da adequação para tomada de decisão em grupo; interação com os usuários, complexidade computacional e capacidade de modelar incertezas.

Por fim, o Capítulo 7 realiza a conclusão do trabalho levantando as atividades realizadas, limitações do projeto e enumerando as possibilidades de estudos futuros.

2. SELEÇÃO DE FORNECEDORES

Na Gestão da Cadeia de Suprimentos, a seleção de fornecedores é uma atividade chave que tem como objetivo maximizar o valor global gerado, buscando atender o conjunto de necessidades e desejos do consumidor a partir de uma estratégia competitiva (CHOPRA; MEINDL, 2003). Desta forma, o processo de gestão não é mais apenas restrito ao interior de uma empresa, mas se expande para todas as atividades, integrando diversas empresas (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2007; BALLOU, 2006).

Desenvolver um sistema adequado de gestão de fornecedores tornou-se uma necessidade na construção de uma cadeia de suprimentos eficaz. O sucesso da atividade de compras é altamente dependente da seleção bem-sucedida de fornecedores. Portanto, a seleção de critérios de tomada de decisão corretos, paralelamente à técnica correta de tomada de decisão, é crucial para identificar o fornecedor certo para a atividade certa (THIRUCHELVAM; TOOKEY, 2011).

O capítulo 2 pretende retratar o processo de seleção de fornecedores, sendo assim, o mesmo está estruturado com a seção 2.1 apresentando a visão geral e consolidada na literatura sobre o processo de seleção de fornecedores. A seção 2.2 ostenta os critérios normalmente utilizados no processo de seleção e avaliação de fornecedores. Na seção 2.3 é apresentada uma revisão sistemática da literatura na qual as técnicas de decisão em grupo aplicadas à seleção de fornecedores são explicitadas, juntamente com a tendência de pesquisa no tópico estudado.

2.1. VISÃO DO PROCESSO DE SELEÇÃO DE FORNECEDORES

As empresas estão buscando em seus fornecedores oportunidades para reduzir custos, melhorar a qualidade, e desenvolver inovações de forma mais rápida que seus concorrentes (IZADIKHAH, 2012). Para este fim, especialistas apontam que as empresas podem construir redes de fornecimento *keiretsu* (redes de fornecedores que aprendem, melhoram e prosperaram em sincronia com suas “empresas-mãe”) (LIKER; CHOI, 2004). Ao mesmo tempo, quando a empresa compradora realiza investimentos de desenvolvimento em um determinado fornecedor, aumenta-se também o risco relacionado ao custo de troca deste fornecedor.

Deste modo, observa-se a importância da utilização de indicadores de desempenho para monitorar os diversos setores da cadeia de suprimentos e a utilização de técnicas de seleção e avaliação dos fornecedores. Atualmente, é possível encontrar diversas técnicas multicritério de tomada de decisão para selecionar fornecedores e avaliar se o desempenho do fornecedor contribui para a visão estratégica da cadeia de suprimentos (SODENKAMP; TAVANA; CAPRIO, 2016; ZHOU et al., 2016).

De Boer, Labro e Morlacchi (2001) propôs um processo genérico de seleção de fornecedores conforme ilustrado na Figura 2 e detalhado a seguir. Neste processo, o autor define quatro etapas no processo de seleção de fornecedores: definição do problema, definição dos critérios, qualificação dos fornecedores candidatos e finalmente escolha final que serão detalhados a seguir.

Figura 2: Processo de seleção de fornecedores

Fonte: adaptado de de Boer, Labro e Morlacchi, 2001.

I) **Definição do problema:** nessa etapa os objetivos do problema devem ser investigados e definidos. Neste caso, deseja-se saber se a organização necessita de muitos ou poucos fornecedores para um mesmo produto e se o problema busca

selecionar um fornecedor para um novo produto ou substituir um fornecedor existente;

II) Formulação dos critérios de decisão: definição dos critérios relevantes para o problema e que influenciam diretamente no desempenho do processo. Deseja-se saber se serão avaliados poucos ou muitos critérios, o peso relativo de cada critério e como avaliar o valor de cada critério;

III) Qualificação dos fornecedores candidatos: esta fase contempla como realizar a ordenação e a redução da quantidade de potenciais fornecedores. Nessa fase, espera-se que um nível mínimo de satisfação seja atendido para cada critério, caso contrário, o fornecedor é desclassificado;

IV) Escolha final: definição do ranking final dos fornecedores, quantidade de fornecedores selecionados e alocação de pedidos são estabelecidos.

Como podem ser observadas nas fases de seleção de fornecedores, diferentes técnicas podem ser utilizadas para diferentes etapas. As fases 1 e 2 normalmente utilizam ferramentas qualitativas, tais como análise visual e *brainstorming*, enquanto as fases 3 e 4 utilizam mais técnicas quantitativas, tais como programação linear, técnicas multicritério e análise envoltória de dados (DE BOER; LABRO; MORLACCHI, 2001).

Baseado na teoria de classificação de itens proposta por Kraljic (1983), De Boer, Labro e Morlacchi (2001) estendem seu modelo de processo de seleção de fornecedores em função de diferentes situações de compra, como detalhado no Quadro 1. As situações categorizadas e apresentadas são: nova compra; recompra modificada para produtos alavancados; recompra contínua para produtos rotineiros; e recompra contínua para produtos estratégicos e gargalos.

Os itens classificados como rotineiros ou não críticos são aqueles que apresentam baixo impacto nos lucros e baixo risco de fornecimento. Os itens alavancados, por sua vez, também apresentam baixo risco de fornecimento, entretanto um alto impacto nos lucros. Os itens classificados como gargalos e estratégicos apresentam alto risco de fornecimento, mas com baixo impacto e alto impacto nos lucros respectivamente.

Neste caso, para cada etapa do processo de seleção de fornecedores, e para cada situação de seleção de fornecedores apresentado, um processo de tomada de decisão específico é indicado conforme apresentado pelo Quadro 1.

Quadro 1 : Framework para seleção de fornecedores segundo categorização.

	Nova Compra	Recompra Modificada para produtos alavancado	Recompra Contínua para produtos rotineiros	Recompra Contínua para produtos estratégicos e gargalos
Definição do problema	Fazer x Comprar	Usar mais, menos ou trocar fornecedores?	Trocar o fornecedor atual?	Como lidar com o fornecedor?
Formulação dos critérios	Não há dados históricos disponíveis sobre fornecedores Importância variável Decisão única; Não há critérios disponíveis anteriormente	Importância média/alta; Repetição de decisão; Dados históricos disponíveis sobre fornecedores; há critérios disponíveis anteriormente	Importância baixa/média; Repetição de decisão; Dados históricos disponíveis sobre fornecedores; há critérios disponíveis anteriormente	Importância alta; Repetição de decisão; Dados históricos disponíveis sobre fornecedores; há critérios disponíveis anteriormente
Qualificação	Conjunto inicial de fornecedores pequeno; Classificação em vez de ranqueamento; Não há registros históricos disponíveis	Conjunto inicial de fornecedores grande ; A classificação, assim como o ranqueamento; Há registros históricos disponíveis	Conjunto inicial de fornecedores grande ; A classificação em vez de ranqueamento; Há registros históricos disponíveis	Conjunto inicial de fornecedores muito pequeno ; A classificação em vez de ranqueamento; Há registros históricos disponíveis
Escolha	Conjunto inicial de fornecedores pequeno; ranqueamento em vez de classificação; Muitos critérios; Muita interação; Importância variável; modelo utilizado uma vez; Não há registros históricos disponíveis	Conjunto inicial de fornecedores pequeno ou moderado; ranqueamento em vez de classificação; como alocar o volume?; menos critérios; menor interação; há registros históricos disponíveis; modelo utilizado novamente.	Conjunto inicial de fornecedores pequeno ou moderado; ranqueamento em vez de classificação; menos critérios; menor interação; há registros históricos disponíveis; modelo utilizado novamente; único fornecedor em vez de vários fornecedores.	Conjunto inicial de fornecedores muito pequeno (normalmente somente um); avaliação em vez de seleção; único fornecedor; há registros históricos disponíveis;

Fonte: adaptado de De Boer, Labro e Morlacchi, 2001.

2.2. CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO E AVALIAÇÃO DE FORNECEDORES

O problema de seleção e avaliação de fornecedores dentro da cadeia de suprimentos é um problema de decisão multicritério e necessita ser realizado por um grupo de tomadores de decisão (BORAN *et al.*, 2009). Os decisores costumam expressar suas preferências em alternativas ou em atributos dos fornecedores existentes, que podem ser usados para classificar ou selecionar os fornecedores mais desejáveis (SCOTT *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2009).

O processo de seleção de fornecedores é considerado um problema complexo pelo fato de que vários critérios devem ser considerados no processo de tomada de decisão, buscando assim, a avaliação adequada do problema (WEBER; CURRENT; BENTON, 1991). O conjunto de critérios utilizados varia de acordo com o objetivo do problema estudado, sendo possível verificar uma gama de critérios potenciais. Dessa forma, alguns

artigos realizam levantamentos dos critérios mais utilizados para a seleção e avaliação de fornecedores (KANT; DALVI, 2017; GUARNIERI, 2015; HO; XU; DEY, 2010).

Centenas de critérios foram propostos em aplicações de várias técnicas de tomada de decisão para seleção de fornecedores, sendo que o critério mais popular é a qualidade, seguida pela entrega, preço/custo, capacidade de fabricação, serviço, gestão, tecnologia, pesquisa e desenvolvimento, finanças, flexibilidade, reputação, relacionamento, risco e segurança e meio ambiente (HO; XU; DEY, 2010). Entretanto, poucos critérios são considerados nos estudos, sendo sua grande maioria ligada ao nível operacional ou utilizada meramente como casos ilustrativos, o que torna a maioria dos modelos de decisão não adequados para replicação nas reais necessidades das empresas (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2013). O Quadro 2 apresenta um levantamento dos critérios utilizados por artigos de seleção e avaliação de fornecedores.

Por meio do levantamento dos critérios é possível observar que os artigos mais recentes apresentam a perpetuidade dos critérios mais utilizados, tais como qualidade, custo e entrega. Entretanto, a utilização assídua de outros critérios como gestão tecnológica, relacionamento, reputação e meio ambiente, mostram como os critérios buscam se adaptar às necessidades do mercado.

Quadro 2: Critérios para seleção e avaliação de fornecedores.

	Qualidade	Entrega	Preço/Custo	Capacidade de fabricação	Gerenciamento	Nível de serviço	Gestão Tecnológica	Pesquisa e desenvolvimento	Finanças	Flexibilidade	Reputação	Relacionamento/ colaboração	Risco e Segurança	Meio ambiente
Agarwal <i>et al.</i> (2011)	✓	✓	✓									✓		
Amid, Ghodsypour e O'Brien (2006)	✓		✓	✓		✓								
Araz, Ozfirat e Ozkaram (2007)	✓	✓			✓				✓	✓		✓		
Boran <i>et al.</i> (2009)	✓	✓	✓					✓				✓		
Darabi e Heydari (2016)	✓	✓	✓				✓							✓
Deng <i>et al.</i> (2014)	✓		✓		✓	✓					✓			
Feng, Fan e Ma (2010)							✓		✓		✓	✓		
Gitinavard, Mousavi e Vahdani (2016)	✓	✓	✓				✓							✓
Huang <i>et al.</i> (2013)	✓		✓	✓	✓	✓	✓				✓		✓	
Kannan <i>et al.</i> (2013)	✓	✓	✓				✓							✓
Khaleie, Fasanghari e Tavassoli (2012)	✓	✓	✓		✓		✓				✓			✓
Liao e Kao (2010)	✓	✓	✓			✓			✓		✓		✓	
Nia <i>et al.</i> (2016)	✓	✓	✓											✓
Park <i>et al.</i> (2010)	✓	✓	✓		✓		✓		✓			✓		
Qi, Liang e Zhang (2015)	✓	✓	✓									✓		
Rao <i>et al.</i> (2016)	✓	✓	✓								✓			✓
Sanayei <i>et al.</i> (2008)		✓	✓	✓					✓	✓				
Setak, Sharifi e Alimohammadian (2012)	✓	✓	✓											
Wang, Zeng e Zhang (2013)	✓		✓			✓					✓		✓	
Xu e Shen (2014)			✓	✓		✓					✓			
Yayla, Yildiz e Özbek (2012)	✓	✓	✓							✓				
Yu (2015)					✓	✓	✓							✓
Yue (2014)	✓	✓		✓						✓				
Yue e Jia (2013)	✓	✓	✓			✓								
Zhang, Qi e Huang (2013)	✓	✓	✓											

Fonte: dados da pesquisa.

2.3. TÉCNICAS DE DECISÃO EM GRUPO APLICADAS À SELEÇÃO DE FORNECEDORES

A tomada de decisão envolvendo problemas de seleção de fornecedores apresenta várias lacunas. Algumas dessas lacunas são discutidas em uma revisão realizada por Li e Wan (2014), o qual relaciona as dificuldades de aplicação dos métodos propostos na literatura com as limitações das aplicações práticas. A primeira lacuna apontada é que a maioria dos modelos apresentados na literatura pressupõe que os pesos dos atributos e avaliações dos tomadores de decisão são completamente dados a priori. Entretanto podem existir algumas dificuldades ou desafios para o tomador de decisão avaliar precisamente, devido à pressão no tempo, falta de conhecimento (ou dados), e domínio limitado sobre o problema. A segunda lacuna apontada pelo autor se refere à simplificação dos métodos que consideram apenas um tomador de decisão para o processo de seleção de fornecedores. Com a crescente complexidade e competitividade do mercado, as empresas evoluem cada vez mais tomadores de decisão (diferentes especialistas) para se chegar a uma avaliação mais vantajosa para a organização como um todo (LI; WAN, 2014).

Na literatura, diversas são as técnicas encontradas para seleção e avaliação de fornecedores, possibilitando ao tomador de decisão escolher a mais adequada para o seu problema. Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2013), apresenta uma revisão da literatura sobre as técnicas multicritério utilizadas para estes problemas, sendo que as técnicas que utilizam as abordagens *fuzzy* vêm sendo as mais utilizadas para os problemas de seleção de fornecedores. Entretanto, poucas são as técnicas que lidam de forma adequada com a tomada de decisão em grupo. Em condições complexas do mundo real, não é possível que um único tomador de decisão reconheça todos os aspectos relevantes de um problema de tomada de decisão. Assim esse processo requer a consideração de muitos tomadores de decisão ou especialista de diferentes campos, com diferentes experiências de trabalho e conhecimento técnico variado (GITINAVARD; MOUSAVE; VAHDANI, 2016).

Para identificar as principais técnicas e representações de julgamentos utilizadas para seleção de fornecedores considerando a tomada de decisão em grupo, foi realizada uma revisão da literatura segundo o embasamento teórico proposto por Randolph (2009) e Tranfield, Denyer e Smart (2003). Foram utilizadas as bases de dados *Web of Science* (apps.webofknowledge.com) e *SCOPUS* (www.scopus.com) que incluem a grande maioria de periódicos relacionados aos estudos em questão. O conjunto de palavras “*Supplier selection*” AND “*Group Decision*” foi aplicado, retornando um total de 172 artigos na base

Web of Science e 121 artigos na base *SCOPUS*. Por se tratar de um tema recente, todos os artigos retornados da pesquisa foram analisados. A estratégia de busca foi ler inicialmente o resumo e palavras chaves, e em caso de dúvidas, as seções seguintes dos artigos eram averiguadas para definição do seu escopo. Eliminando as duplicidades e alguns artigos que não estavam no escopo da pesquisa, foram selecionados 178 artigos. Os artigos excluídos da pesquisa não apresentavam a aplicação da seleção ou avaliação de fornecedores ou não tratavam a tomada de decisão em grupo. O Quadro 3 apresenta as técnicas utilizadas e os respectivos tipos de representação da informação utilizada nos artigos.

Quadro 3: Técnicas multicritério de tomada de decisão em grupo para seleção de fornecedores.

Técnicas de tomada de decisão	Tipo de Representação	Referências
<i>Topsis & extensions</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Celik <i>et al</i> (2016); Govindan e Sivakumar (2016); Arabzad <i>et al.</i> (2015); Cakir (2016); Dowlatshahi <i>et al.</i> (2015); Jia <i>et al.</i> (2015); Li e Chou (2014); Saradhi, Shankar e Suryanarayana (2016); Lima Junior, Osiro e Carpinetti, (2014)
	<i>Interval type-2 fuzzy</i>	Mousakhani, Nazari-Shirkouhi, e Bozorgi-Amiri (2017)
	<i>Intuitionistic fuzzy</i>	Rouyendegh (2015); Rouyendegh (2014); Yang, Chen e Zhang (2017); Aloini, Dulmin e Mininno (2014); Boran <i>et al.</i> (2009); Wen, Xu e Wang (2013); Yue (2014); Yue e Jia (2013)
	<i>Interval-valued Intuitionistic fuzzy</i>	Ren <i>et al.</i> (2017) Zhang <i>et al.</i> (2013); Yue e Jia (2015)
	<i>Uncertain linguistic fuzzy soft sets</i>	Tao <i>et al.</i> (2015)
	<i>Hesitant fuzzy</i>	Qu <i>et al.</i> (2017); Wu, Chen e Xu (2017)
	<i>Numeric</i>	Yue (2013 a)
	<i>Interval-valued numeric</i>	Yue (2013 b)
	<i>Interval-valued hesitant fuzzy sets</i>	Gitinavard, Mousavi e Vahdani (2016)
<i>AHP & extensions</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Çakır (2017); Kar (2015); Xu <i>et al.</i> (2015); Fan <i>et al.</i> (2015); Kar e Pani (2014 b); Aydin e Kahraman (2010); Zhang <i>et al.</i> (2015)
	<i>Numeric evaluation</i>	Dong, Zhü e Cooper (2017); Dragincic e Vranesevic (2014); Kar (2017); Sadeghi, Rashidzadeh e Soukhakian (2012)
	<i>Intuitionistic fuzzy</i>	Shariati <i>et al.</i> (2017); Büyüközkan e Göçer (2017)

Continua na próxima página.

Continuação – Quadro 3: Técnicas multicritério de tomada de decisão em grupo para seleção de fornecedores.

Técnicas de tomada de decisão	Tipo de Representação	Referências
VIKOR & Extensions	<i>Linguistic fuzzy</i>	Mahmoudi, Sadi-Nezhad e Makui (2016); Sahu, Datta e Mahapatra (2016); Mishra <i>et al.</i> (2012); Shemshadi <i>et al.</i> (2011); Sanayei, Mousavi e Yazdankhah (2010)
	<i>Intuitionistic fuzzy</i>	Yuan <i>et al.</i> (2014); Roostaei <i>et al.</i> (2012)
	<i>Interval 2-tuple linguistic</i>	You <i>et al.</i> (2015)
	<i>uncertain preference ordinal</i>	Zhang <i>et al.</i> (2016)
	<i>Vague sets</i>	Geng e Liu (2015)
	<i>Hesitant fuzzy</i>	Wang <i>et al.</i> (2017)
	<i>linguistic 2-tuple</i>	Rao <i>et al.</i> (2017)
Optimization models	<i>Linguistic fuzzy</i>	Li e Wan (2014); Sepehriar, Eslamipour e Nobari (2013)
	<i>Numeric fuzzy</i>	Razmi, Songhori e Khakbaz (2009)
	<i>Interval-valued intuitionistic fuzzy</i>	Afzali, Rafsanjani e Saeid (2016); Qi, Liang e Zhang (2015); Chen, Wang e Lu (2011); Zhang, Ju e Liu, (2017)
	<i>Interval type-2 fuzzy</i>	Gong (2013); Qin, Liu e Pedrycz, (2017)
	<i>Intuitionistic fuzzy</i>	Wan e Li (2013)
	<i>Hesitant fuzzy</i>	Xue e Due (2017); Zhang et al (2016)
	<i>Intuitionistic Fuzzy Sets; fuzzy truth degrees</i>	Wan e Li (2014)
	<i>Interval-valued fuzzy</i>	Chen (2012)
	<i>Pythagorean fuzzy numbers</i>	Zeng (2017)
ELECTRE & Extensions	<i>Pythagorean Fuzzy sets; fuzzy truth degrees</i>	Wan, Jin e Dong (2017)
	<i>interval type-2 fuzzy</i>	Celik, Gumus e Erdogan (2016); Chen (2014)
	<i>Interval-valued intuitionistic fuzzy</i>	Ebrahimnejad <i>et al.</i> (2015); Xu e Shen (2014)
	<i>Hesitant fuzzy</i>	Fahmi, Kahraman e Bilen (2016)
PROMETHEE & Extensions	<i>Interval-valued hesitant fuzzy</i>	Gitinavard, Ghaderi e Pishvaei (2017)
	<i>Linguistic Fuzzy</i>	Mahmoudi, Sadi-Nezhad e Makui (2016);
Fuzzy Grey & Extensions	<i>Linguistic evaluation</i>	Espinilla, Halouani e Chabchoub (2015)
	<i>Fuzzy grey sets</i>	Esangbedo e Che (2016 b); Banaeian et al. (2015), Mousavi et al. (2014)
	<i>Linguistic fuzzy</i>	Rao et al (2017) ; Celebi e Selvi (2014)
	<i>Linguistic 2-tuple</i>	Rao et al. (2016)

Continua na próxima página.

Continuação – Quadro 3: Técnicas multicritério de tomada de decisão em grupo para seleção de fornecedores.

Técnicas de tomada de decisão	Tipo de Representação	Referências
<i>Fuzzy Grey & Extensions</i>	<i>Grey linguistic values</i>	Esangbedo e Che (2016)
<i>Aggregation Operator</i>	<i>Interval-valued hesitant Fuzzy</i>	Chai e Ngai (2015)
	<i>Intuitionistic fuzzy</i>	Gümüş (2017); Tong e Wang (2016); Ju, Yang e Wang, (2014); Wang e Lv (2015); Wang, Zeng e Zhang (2013)
	<i>Interval-valued Intuitionistic fuzzy</i>	Wang e Xu (2016); Li (2014); Chen et al. (2013); Wang, Cai e Li Baowen (2016)
	<i>Hesitant fuzzy</i>	Yu, Li e Merigo (2016); Kahraman, Oztaysi e Onar (2014); Ai, Yang e Zhang (2014)
	<i>Interval grey linguistic variables</i>	Zhang, Zhang e Zhao (2014)
	<i>Linguistic 2-tuple</i>	Shan, You e Liu (2016); Qin e Liu (2016)
	<i>Fuzzy type-2</i>	Qin e Liu (2014)
	<i>Linguistic hesitant fuzzy</i>	Liu et al. (2017)
<i>QFD & Extensions</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Dursun e Karsak (2013)
	<i>Linguistic 2-tuple</i>	Karsak e Dursun (2013)
<i>Choquet Integral & Extensions</i>	<i>2-tuple</i>	Yang (2013)
	<i>Linguistic fuzzy</i>	Tan, Wu e Ma (2011)
<i>MOORA & Extensions</i>	<i>2-tuple</i>	Balezentis e Balezentis (2011); Balezentis e Balezentis (2011b)
	<i>Intuitionistic fuzzy</i>	Wan e Dong (2015); Wan, Lin e Dong (2017)
<i>Data Envelopment</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Jassbi et al. (2016)
<i>COPRAS</i>	<i>Interval type-2 fuzzy sets</i>	Keshavarz Ghorabae et al. (2014)
<i>Waspas</i>	<i>Interval type-2 fuzzy</i>	Keshavarz Ghorabae et al. (2016)
<i>Todim & Extensions</i>	<i>Interval fuzzy type-2</i>	Qin, Liu e Pedrycz (2017)
<i>Rule-based</i>	<i>Interval-valued Intuitionistic fuzzy</i>	Chai, Liu e Xu (2013)
	<i>Linguistic fuzzy</i>	Qi et al (2015) ; Sahu, Datta e Mahapatra (2014)
	<i>Interval type-2 fuzzy</i>	Heidarzade, Mahdavi e Mahdavi-Amiri (2016).
<i>Ranking based on similarity measures</i>	<i>rough sets</i>	Liang, Liu e Kobina (2016)
	<i>vague sets</i>	Matawale, Datta e Mahapatra (2016); Zhang et al. (2009).
<i>Ranking DFS</i>	<i>Interval-valued Intuitionistic fuzzy; Dynamic fuzzy Sets</i>	Zhang et al. (2013)
<i>Consensus</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Govindaraju et al. (2015)

Fonte: dados da pesquisa.

Além das aplicações exibidas pelo Quadro 3, vários artigos buscam propor a utilização conjunta de mais de uma técnica na solução do problema de seleção de fornecedores. Estas propostas também são chamadas de técnicas híbridas, e buscam aproveitar as diferentes vantagens das técnicas e diminuir as desvantagens das mesmas. Desta forma, o Quadro 4 mostra as técnicas híbridas encontradas na literatura pela revisão.

Quadro 4: Técnicas multicritério híbridas de tomada de decisão em grupo para seleção de fornecedores.

Técnicas de tomada de decisão	Tipo de Representação	Referências
<i>AHP & ELECTRE</i>	<i>Linguistic evaluation</i>	Ertay, Kahveci e Tabanlı (2011)
	<i>Numeric evaluation</i>	Tsui e Wen (2014)
<i>AHP & PROMETHEE</i>	<i>Numeric evaluation</i>	Segura e Maroto (2017)
<i>AHP & AD</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Buyukozkan (2012)
<i>AHP & Aggregation</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Kar e Pani (2014)
<i>AHP & ANP</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Kumar e Claudio (2016)
<i>AHP & Dematel</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Aksakal e Dagdeviren (2015)
<i>AHP & TOPSIS</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Yazdani-Chamzini (2014); Chen e Yang (2011); Taylan et al. (2014); Wang, Cheng e Kun-Cheng (2009)
<i>ANP & TOPSIS</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Govindaraju et al. (2015)
<i>TOPSIS & DEMATEL</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Dalalah, Hayajneh e Batieha (2011)
<i>TOPSIS & Rule-based</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Igoulalene, Benyoucef e Tiwari (2015)
<i>TOPSIS & DEA</i>	<i>Interval 2-tuple</i>	Geng, Gong e Chu (2016)
<i>TOPSIS & Rough sets</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	He et al. (2016)
<i>Fuzzy Grey & Dempster-Shafer theory</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Wu (2009)
<i>MAUT & Optimization Model</i>	<i>Numeric evaluation</i>	Sanayei et al. (2008)
<i>Optimization Model & Choquet Integral</i>	<i>Interval-valued intuitionistic fuzzy</i>	Qin, Li e Chen (2015)
<i>QFD & DEA</i>	<i>Linguistic fuzzy</i>	Karsak e Dursun (2014)
<i>Score function & Accuracy function</i>	<i>intuitionistic fuzzy</i>	Khaleie, Fasanghari e Tavassoli (2012)

Fonte: dados da pesquisa.

Com os resultados obtidos é possível apresentar algumas análises. Inicialmente, a Figura 3 apresenta um gráfico com o número de publicação de artigos relacionados à seleção de fornecedores e tomada de decisão em grupo de acordo com os anos. Verifica-se que existe um crescimento no número de pesquisas referentes ao escopo do tema ao

decorrer dos anos. A partir de 2014, o número de pesquisas apresentou um maior salto, com a combinação de novas técnicas e operadores de agregação de julgamentos. Ressalta-se que o tema estudado é recente na literatura, sendo que o artigo mais antigo encontrado nas bases pesquisadas é de 2008, evidenciando uma tendência de crescimento nos estudos e grande potencial de novas aplicações.

Várias são as técnicas propostas para a tomada de decisão em grupo aplicada na seleção de fornecedores, sendo que a revisão sistemática identificou 66 técnicas diferentes aplicadas individualmente nos problemas. Em relação as aplicações híbridas, 18 propostas diferentes foram identificadas. As técnicas multicritério de classificação são destacadas como as mais utilizadas, sendo estas o *Fuzzy TOPSIS*, *TOPSIS*, *VIKOR*, *Fuzzy AHP*, *Fuzzy VIKOR*, *AHP* e *Fuzzy TOPSIS* com *AHP*, com suas respectivas frequências de aplicações no gráfico da Figura 4.

Figura 3: Número de publicações relacionado à seleção de fornecedores e tomado de decisão em grupo ao longo dos anos.

Fonte: dados da pesquisa.

Como principal dado da pesquisa, a Figura 5 apresenta um gráfico com a frequência de utilização dos diversos tipos de representação de informação utilizados nos problemas abordados. Apenas as representações utilizadas mais de uma vez são apresentadas no gráfico, sendo que 26 tipos de representações diferentes foram identificados. A utilização conjunta das representações de informações e técnicas MCDM subsidia o processo de tomada de decisão em grupo, possibilitando a representação de incertezas e imprecisões.

Figura 4: Técnicas MCDM aplicadas à seleção de fornecedores.

Fonte: dados da pesquisa.

Pode-se verificar que as abordagens *fuzzy* representam 81% das aplicações desenvolvidas nos artigos selecionados pela revisão. As tradicionais e difundidas representações *linguistic fuzzy* foram as mais utilizadas seguidas pelas representações *Intuitionistic fuzzy* e *interval-valued intuitionistic fuzzy*. Além disso, podemos destacar as representações Hesitant Fuzzy, Interval type-2 fuzzy e linguistic 2-tuple pela capacidade de lidar com a incerteza e imprecisão das avaliações. A representação numérica, apesar de ser a quarta mais utilizada, normalmente é utilizada em conjunto com técnicas de otimização linear (RAZMI; SONGHORI; KHAKBAZ, 2009) ou AHP (DONG; ZHÜ; COOPER, 2017), não sendo muito adequada para representar indecisões do processo de tomada de decisão em grupo.

Sendo assim, o presente trabalho busca destacar as representações *intuitionistic fuzzy*, *hesitante fuzzy* e suas variações por ser abordagens amplamente estudadas nas publicações nos últimos anos, apresentando um grande potencial de aplicação e crescimento. A importância do estudo dessas técnicas pode ser justificada devido a capacidade singular de representação da imprecisão e adequação para o processo de tomada de decisão em grupo (QU *et al.*, 2017; WU; CHEN; XU, 2017).

Ao separar as publicações de artigos por países, é possível identificar as regiões que estão desenvolvendo mais pesquisas referentes ao tema e que são possíveis parceiros de pesquisa, conforme exibido na Figura 6. A China se destaca pela grande concentração dos artigos encontrados na revisão sistemática (50,6%), seguida pelo Irã (16,1%), Turquia (13,2%) e Índia (7,5%). Já o Brasil, apresenta uma pequena parcela de participação com apenas dois artigos publicados (1,1%) dentro do escopo de pesquisa.

Figura 5: Representações utilizadas na decisão em grupo aplicada à seleção de fornecedores.

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 6 - Número de publicações por país.

Fonte: dados da pesquisa.

Em relação à disseminação do conteúdo, conforme exibido no Quadro 5, 74 periódicos diferentes publicaram artigos relacionados ao tema abordado. Entretanto, a maioria dos periódicos (71%), publicou apenas um artigo referente ao tema, o que pode demonstrar uma grande gama de possibilidades de aplicação dessas técnicas. A revista identificada com maior número de publicações acerca do tema foi a *Expert Systems With Applications* (21 artigos), seguida pela *Applied Soft Computing* (8 artigos). A identificação dos periódicos que mais publicaram temas relacionados ao objetivo da presente pesquisa, pode contribuir para a seleção de revistas mais complacentes para publicar artigos correlacionados.

Quadro 5: Número de publicações de acordo com os periódicos.

Periódicos	Número de Artigos
<i>EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS</i>	21
<i>APPLIED SOFT COMPUTING</i>	8
<i>INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTATIONAL INTELLIGENCE SYSTEMS</i>	6
<i>APPLIED MATHEMATICAL MODELLING</i>	5
<i>MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING</i>	7
<i>INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY</i>	4
<i>INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING</i>	4
<i>JOURNAL OF INTELLIGENT & FUZZY SYSTEMS</i>	6
<i>BENCHMARKING</i>	3
<i>COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING</i>	4
<i>ECONOMIC COMPUTATION AND ECONOMIC CYBERNETICS STUDIES AND RESEARCH</i>	3
<i>INFORMATION SCIENCES</i>	3
<i>JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT</i>	3
<i>INTERNATIONAL JOURNAL OF FUZZY SYSTEMS</i>	4
<i>APPLIED INTELLIGENCE</i>	2
<i>INFORMATICA</i>	2
<i>JOURNAL OF APPLIED MATHEMATICS</i>	2
<i>JOURNAL OF TESTING AND EVALUATION</i>	2
<i>KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS</i>	3
<i>SOFT COMPUTING</i>	3
<i>IEEE</i>	3
<i>NEURAL COMPUTING & APPLICATIONS</i>	3

Continua na próxima página.

Periódicos	Número de Artigos
<i>INTERNATIONAL JOURNAL OF INTELLIGENT SYSTEMS</i>	2
<i>JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION</i>	2
<i>TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF ECONOMY</i>	2
<i>KYBERNETES</i>	2
<i>Outros</i>	56

Fonte: dados da pesquisa.

3. TÉCNICAS FUZZY DE DECISÃO EM GRUPO

A tomada de decisão de grupo (Group Decision Making - GDM) é uma atividade humana comum e crucial, pela qual um tomador de decisão ou especialista (Decision Maker - DM) pode lidar com complexos problemas de decisão, envolvendo atributos conflitantes e não comensuráveis (YUE, 2014). Durante a resolução de um problema de decisão em grupo, deve-se considerar o grau de incerteza, o número de decisores e a natureza dos critérios. Os decisores costumam expressar suas preferências em alternativas ou em atributos existentes, que podem ser usados para classificar ou selecionar os fornecedores mais desejáveis (SCOTT *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2009). Entretanto, a maioria dos operadores de agregação existentes não leva em consideração a relação entre os valores que estão sendo agregados (WANG; ZHENG; ZHANG, 2013).

Wang e Lee (2009) classificaram os métodos de determinação de pesos de critérios em duas categorias: métodos objetivos e métodos subjetivos. Os métodos objetivos determinam os pesos resolvendo modelos matemáticos automaticamente, como o método da entropia da programação objetiva múltipla (XU; SHEN, 2014). Os métodos subjetivos determinam pesos apenas com base nas preferências ou julgamentos de tomadores de decisão. Dessa forma, as análises e julgamentos podem ser suscetíveis a interesses pessoais, que podem interferir negativamente no desempenho sistêmico da organização. Portanto, as técnicas de decisão em grupo devem contemplar essa situação.

A teoria dos conjuntos *fuzzy* proposto inicialmente por Zadeh (1964), obteve uma grande aceitação em vários campos de estudos, assim como na avaliação e seleção de fornecedores. Muitas formas generalizadas de conjuntos *fuzzy* foram propostas para captar da melhor forma a subjetividade de um determinado problema (CHEN *et al.*, 2013). Os conjuntos clássicos incluem os conjuntos *fuzzy* com valores de intervalo (CHEN, 2012), conjuntos *fuzzy* intuicionista (KHALEIE; FASANGHARI; TAVASSOLI, 2012; WANG *et al.*, 2016), conjuntos *fuzzy* intuicionistas com valor de intervalo (CHEN *et al.*, 2011; AFZALI *et al.*, 2016), conjuntos *fuzzy* tipo 2 (QIN E LIU, 2014), conjuntos *fuzzy* tipo 2 com valor de intervalo (CHEN, 2014, KESHAVARZ GHORABAEI *et al.*, 2014), entre outros.

Abordagens *fuzzy* de tomada de decisão em grupo são utilizadas para coletar as avaliações de preferência individuais de cada tomador de decisão. Diferentes representações de dados podem ser utilizadas, sendo que posteriormente técnicas de tomada

de decisão e operadores de agregação *fuzzy* serão aplicadas para alcançar o consenso do grupo de decisores (EKEL *et al.*, 2009). Dentre as representações observadas, o *Intuitionistic fuzzy* e *Hesitant Fuzzy* vêm se destacando devido ao crescimento de trabalhos que utilizam essas técnicas e a sua capacidade de lidar com incertezas, subjetividade e agregação de julgamentos.

De um modo geral, existem duas expressões principais para descrever um problema GDM. A primeira, é que cada tomador de decisão fornece a sua avaliação de decisão individual em relação aos critérios para cada alternativa, expressa por (YUE, 2014):

$$\begin{array}{cccc}
 \text{Critério 1} & \text{Critério 2} & \cdots & \text{Critério } n \\
 \text{Alternativa 1} & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\
 \text{Alternativa 2} & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 \text{Alternativa } m & x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn}
 \end{array} \quad (1)$$

Seja m o número de alternativas disponíveis e n o número de critérios avaliados para cada alternativa, então x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) é o valor da avaliação da alternativa i em relação a cada critério j . A literatura mais recente vem representando os modelos nesta forma (GITINAVARD *et al.*, 2016; NIA *et al.*, 2016; EBRAHIMNEJAD *et al.*, 2015; IZADIKHAH, 2012).

A segunda expressão utilizada na tomada de decisão em grupo ocorre quando cada alternativa é avaliada pelo conjunto de tomadores de decisão, em relação aos critérios utilizados pelo processo de decisão (YUE, 2014):

$$\begin{array}{cccc}
 \text{Critério 1} & \text{Critério 2} & \cdots & \text{Critério } n \\
 DM 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\
 DM 2 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 DM t & x_{t1} & x_{t2} & \cdots & x_{tn}
 \end{array} \quad (2)$$

Seja t a quantidade de tomadores de decisão envolvidos no processo e n o número de critérios avaliados, então x_{dj} ($d = 1, 2, \dots, t; j = 1, 2, \dots, n$) é o conteúdo da avaliação do decisor d em relação ao critério j . Entretanto, poucos artigos encontrados na literatura

utilizam essa expressão para a entrada de dados das opiniões individuais (DARABI; HEYDARI, 2016; BORAN *et al.*, 2009).

A essência para a solução de problemas de tomada de decisão em grupo está em como agregar os valores em um vetor de atributos com valor global que represente a opinião do grupo, e desta forma, seja possível tomar uma decisão coletiva e que beneficie a cadeia de suprimentos como um todo (YUE, 2014). Após apresentar as abordagens GMD estudadas durante o desenvolvimento do projeto, os operadores de agregação serão apresentados para a aplicação das técnicas.

O presente capítulo tem como objetivo o detalhamento das técnicas *fuzzy* de decisão em grupo que serão comparadas neste trabalho. Desta forma, a seção 3.1 introduz os conceitos fundamentais da teoria de conjuntos *fuzzy*, bem como os operadores *fuzzy* mais difundidos na literatura. A seção 3.2 apresenta a técnica *Intuitionistic fuzzy* com suas definições fundamentais e aplicação à tomada de decisão. Da mesma forma, na seção 3.3, a técnica generalizada *Interval-valued Intuitionistic fuzzy* é discriminada. A técnica *Hesitante fuzzy* é especificada na seção 3.4, e sua generalização *Interval-valued Hesitante fuzzy* é particularizada na seção 3.5. Finalmente, os operadores de agregação utilizados em suas respectivas representações *fuzzy*, são detalhados na seção 3.6.

3.1. TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY

Os processos de decisão normalmente envolvem informações incompletas ou incertas que necessitam ser modeladas para traduzir as preferências dos tomadores de decisão. A lógica *fuzzy* é amplamente consolidada nos modelos multicritérios de tomada de decisão, devido a sua capacidade em lidar com a modelagem da incerteza (ABDULLAH, 2013). As variáveis linguísticas são muito utilizadas para facilitar a capacidade de expressão dos responsáveis pela avaliação e tomada de decisão. Na teoria dos conjuntos *fuzzy*, os valores das variáveis são representados qualitativamente por meio de termos linguísticos e traduzidos quantitativamente por conjuntos *fuzzy* no universo de discurso das respectivas funções de pertinência (ZADEH, 1968).

3.1.1. Definições fundamentais fuzzy

Um conjunto *fuzzy* $\tilde{A}$ é definido por:

$$\tilde{A} = \{x, \mu_A(x)\}, \quad x \in X$$

Onde, $\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$ é um membro da função de $\tilde{A}$ e $\mu_A(x)$ é o grau de pertinência de x em $\tilde{A}$. Se $\mu_A(x)$ é igual a 0, então x não pertence ao conjunto *fuzzy* $\tilde{A}$. Caso $\mu_A(x)$ seja igual a 1, x pertence completamente ao conjunto *fuzzy* $\tilde{A}$. Entretanto, se $\mu_A(x)$ possui um valor entre 0 e 1, então x pertence parcialmente ao conjunto *fuzzy* $\tilde{A}$. Dessa forma, pode-se dizer que a pertinência de x é verdadeira com um grau de pertencimento dado por $\mu_A(x)$ (ZADEH, 1965; ZIMMERMANN, 2010). Um número *fuzzy* é um conjunto *fuzzy* na qual a função de pertinência satisfaz a condição de normalidade e de convexidade (ZADEH, 1965; ZIMMERMANN, 2010).

Um conjunto *fuzzy* é normal, se e somente se, existir ao menos um elemento com grau de pertencimento máximo, $\mu_A(x) = 1$. Além disso, um conjunto *fuzzy* $\tilde{A}$ é convexo, se e somente se, $\forall x_1$ e $x_2 \in X$ e $\forall \lambda \in [0, 1]$, $f_A(x)[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq \min[f_A(x_1), f_A(x_2)]$ (BELLMAN E ZADEH, 1970).

Para a representação de um conjunto *fuzzy*, são utilizadas funções de pertinência. Dentre as funções de pertinência utilizadas, as mais comumente encontradas na literatura são as funções triangulares e trapezoidais. As funções de pertinência triangulares são representadas por números *fuzzy* triangulares conforme apresentado na Figura 7 (HANSS, 2005).

Figura 7: Número *fuzzy* triangular.

Fonte: Própria autoria.

A função de pertinência triangular que representa todo $x_i \in X$ pode ser obtida pela Equação (3). Sendo a, m e b números reais com $a < m < b$, no qual m representa o ponto máximo no grau de pertinência, a e b representam respectivamente os pontos mais baixos e altos do conjunto *fuzzy* com grau de pertinência igual a zero, e fora do intervalo $[a, b]$, o grau de pertinência é nulo (ZIMMERMANN, 2010).

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{para } x_i < a, \\ \frac{x_i - a}{m - a} & \text{para } a \leq x_i \leq m, \\ \frac{b - x_i}{b - m} & \text{para } m \leq x_i \leq b, \\ 0 & \text{para } x_i > b. \end{cases} \quad (3)$$

Nas funções de pertinência trapezoidais, as variáveis são representadas por números *fuzzy* trapezoidais conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8: Número *fuzzy* trapezoidal.

Fonte: Própria autoria.

A função de pertinência trapezoidal que representa todo $x_i \in X$ pode ser obtida pela Equação (4). Sendo a, m, n e b números reais com $a < m < n < b$, no qual m e n representam respectivamente o menor e o maior ponto das extremidades do intervalo de grau de pertinência máximo, e fora do intervalo $[a, b]$, o grau de pertinência é nulo (ROSS, 2004).

$$\mu_A(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{para } x_i < a, \\ \frac{x_i - a}{m - a} & \text{para } a \leq x_i \leq m, \\ 1 & \text{para } m \leq x_i \leq n, \\ \frac{b - x_i}{b - n} & \text{para } n \leq x_i \leq b, \\ 0 & \text{para } x_i > b. \end{cases} \quad (4)$$

Enquanto uma variável algébrica utiliza números como valores, uma variável linguística utiliza as palavras e/ou sentenças como valores. Dessa forma, o nome dessa variável linguística é seu rótulo. O conjunto de valores que a variável pode assumir é chamado conjunto de termos. Cada valor no conjunto de termos é um valor linguístico ou termo definido sobre o universo. Em sùmula, uma variável linguística assume um valor linguístico, que é um conjunto *fuzzy* definido no universo de discurso (JANTZEN, 2007).

3.1.2. Operações algébricas com números fuzzy

Dado um número real K e dois números *fuzzy* triangulares $\tilde{A} = (l_1, m_1, u_1)$ e $\tilde{B} = (l_2, m_2, u_2)$, as principais operações algébricas são apresentadas a seguir pelas equações 5 até 10 (ZIMMERMANN, 2010).

- Adição de dois números *Fuzzy* triangulares:

$$\tilde{A}(+) \tilde{B} = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad l_1 \geq 0, l_2 \geq 0 \quad (5)$$

- Multiplicação de dois números *Fuzzy* triangulares:

$$\tilde{A}(X) \tilde{B} = (l_1 X l_2, m_1 X m_2, u_1 X u_2) \quad l_1 \geq 0, l_2 \geq 0 \quad (6)$$

- Subtração de dois números *fuzzy* triangulares:

$$\tilde{A}(-) \tilde{B} = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \quad l_1 \geq 0, l_2 \geq 0 \quad (7)$$

- Divisão de dois números *fuzzy* triangulares:

$$\tilde{A}(\div) \tilde{B} = (l_1 \div u_2, m_1 \div m_2, u_1 \div l_2) \quad l_1 \geq 0, l_2 \geq 0 \quad (8)$$

- Multiplicação de um número *fuzzy* triangular por uma constante:

$$K \times \tilde{A} = (K \times l_1, K \times m_1, K \times u_1) \quad l_1 \geq 0, K \geq 0 \quad (9)$$

- Divisão de um número *fuzzy* triangular por uma constante:

$$\frac{\tilde{A}}{K} = \left(\frac{l_1}{K}, \frac{m_1}{K}, \frac{u_1}{K} \right) \quad l_1 \geq 0, K \geq 0 \quad (10)$$

3.2. INTUITIONISTIC FUZZY

Com a análise dos problemas de tomada de decisão, percebeu-se que o conjunto *fuzzy* tradicional apresenta certas limitações, pois não representa uma descrição geral de toda a informação relevante para os problemas mais complexos do dia a dia. Como proposta de melhoria, Atanassov (1986), introduziu um conjunto *intuitionistic fuzzy*. Em seguida,

Atanassov e Gargov (1989) generalizaram o conjunto *fuzzy* intuicionista e apresentaram o *Interval-valued Intuitionistic Fuzzy* (IvIF - conjunto *fuzzy* intuicionista com intervalos). Xu (2007) introduziu o número *fuzzy* intuicionista (IFN) e Xu e Chen (2007) apresentou o número *fuzzy* intuicionista com intervalos (IvIFN).

O IFN e o IvIFN são modelos de representação de informações utilizados para apoiar a tomada de decisão, sendo muito úteis devido à capacidade de expressar informações imprecisas ou incertas de forma mais flexível do que o conjunto *fuzzy* tradicional (YUE; JIA, 2015). Desta forma, diversos trabalhos vêm sendo realizados para desenvolver e enriquecer a teoria (WANG *et al.*, 2013). Segundo Afful-Dadzie, Oplatková e Prieto (2016) esta representação vem sendo muito utilizada em conjunto com técnicas de tomada de decisão multicritério, tais como *Intuitionistic fuzzy TOPSIS*, *Intuitionistic fuzzy AHP*, *Intuitionistic fuzzy VIKOR*, *Intuitionistic fuzzy PROMETHEE*, *Intuitionistic fuzzy ELECTRE*, entre outros, com o objetivo de ordenar as alternativas avaliadas.

3.2.1. Definições Básicas do Intuitionistic Fuzzy

O conceito dos conjuntos do *Intuitionistic fuzzy* (IF) é caracterizado por ter as funções de pertencimento e não pertencimento dentro de um universo de discurso. Alguns autores descrevem a representação do *Intuitionistic fuzzy* como um sistema de votação (YUE; JIA, 2015), ou seja, o grau de pertencimento pode representar um percentual dos tomadores de decisão que concordam que a alternativa avaliada é uma boa solução, o grau de não pertencimento pode representar o percentual dos tomadores de decisão que são contra a alternativa avaliada, e a hesitação seria o percentual de abstenção dos tomadores de decisão. Dessa forma, um conjunto *Intuitionistic fuzzy* $\tilde{A}$ dentro do universo $X\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ pode ser representado segundo (ATANASSOV, 1986):

$$\tilde{A} = \{\langle x_j, \mu_{\tilde{A}}(x_j), \nu_{\tilde{A}}(x_j) \rangle | x_j \in X\}$$

Na qual $\mu_{\tilde{A}}$ e $\nu_{\tilde{A}}$ representam o grau de pertencimento e não pertencimento do elemento x_j respectivamente, $\mu_{\tilde{A}}(x_j) \in [0, 1]$, $\nu_{\tilde{A}}(x_j) \in [0, 1]$, $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x_j) + \nu_{\tilde{A}}(x_j) \leq 1$. O grau de indeterminação do elemento X_j (também chamado de *hesitant*) é denotado por $\pi_{\tilde{A}}(x_j)$, onde:

$$\pi_{\tilde{A}}(x_j) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x_j) - \nu_{\tilde{A}}(x_j).$$

No *intuitionistic fuzzy*, o valor do elemento x_j pertencente ao conjunto *Intuitionistic fuzzy* $\tilde{A}$ pode ser representado como $\langle \mu_{\tilde{A}}(x_j), \nu_{\tilde{A}}(x_j) \rangle$ (CHEN; CHANG, 2016; WANG; XU, 2016; WANG; HONGBO, 2015; WAN; LI, 2014). Segundo Wang *et al.* (2013), os números intuicionistas podem ser representados por conveniência como: $\alpha = (\mu_{\alpha}, \nu_{\alpha})$, onde $\mu_{\alpha} \in [0, 1]$, $\nu_{\alpha} \in [0, 1]$, e $\mu_{\alpha} + \nu_{\alpha} \leq 1$.

Para agregação dos números intuicionistas, as operações foram definidas por Atanassov (1994) e Xu (2007). Suponhamos que $\alpha = (\mu_{\alpha}, \nu_{\alpha})$ e $\beta = (\mu_{\beta}, \nu_{\beta})$, são dois valores intuicionistas, e λ um escalar real qualquer, então as seguintes operações são apresentadas pelas equações 11 até 14:

$$\tilde{\alpha} \oplus \tilde{\beta} = (\mu_{\alpha} + \mu_{\beta} - \mu_{\alpha} \cdot \mu_{\beta}, \nu_{\alpha} \cdot \nu_{\beta}); \quad (11)$$

$$\tilde{\alpha} \otimes \tilde{\beta} = (\mu_{\alpha} \cdot \mu_{\beta}, \nu_{\alpha} + \nu_{\beta} - \nu_{\alpha} \cdot \nu_{\beta}); \quad (12)$$

$$\lambda \tilde{\alpha} = (1 - (1 - \mu_{\alpha})^{\lambda}, \nu_{\alpha}^{\lambda}), \lambda > 0; \quad (13)$$

$$\tilde{\alpha}^{\lambda} = (\mu_{\alpha}^{\lambda}, 1 - (1 - \nu_{\alpha})^{\lambda}), \lambda > 0. \quad (14)$$

3.2.2. *Intuitionistic fuzzy aplicado à tomada de decisão*

Inicialmente, para a aplicação do *intuitionistic fuzzy* no processo de tomada de decisão em grupo, busca-se obter o peso da avaliação de cada tomador de decisão. Esse dado pode ser obtido aplicando-se o método proposto em Boran *et al.* (2009). Seja D a quantidade de tomadores de decisão, a importância de cada tomador de decisão é considerada como um termo linguístico expresso como um número *fuzzy* intuicionista. Dessa forma, temos $[\mu_k, \nu_k, \pi_k]$ como um número *fuzzy* intuicionista que representa o tomador de decisão k . O peso relativo do tomador de decisão (λ_k) pode ser obtido utilizando a Equação (15).

$$\lambda_k = \frac{\left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}\right)\right)}{\sum_{k=1}^D \left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k}\right)\right)}, \text{ sendo } \sum_{k=1}^D \lambda_k = 1. \quad (15)$$

Após a ponderação dos tomadores de decisão, os mesmos devem realizar avaliações sobre os critérios para cada alternativa disponível, conforme representado pela matriz a seguir.

$$R_k = \begin{matrix} & \text{Critério 1} & \text{Critério 2} & \dots & \text{Critério } n \\ \begin{matrix} \text{Alternativa 1} \\ \text{Alternativa 2} \\ \vdots \\ \text{Alternativa } m \end{matrix} & \begin{pmatrix} r_{11}^k \\ r_{21}^k \\ \vdots \\ r_{m1}^k \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} r_{12}^k \\ r_{22}^k \\ \vdots \\ r_{m2}^k \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \dots \\ \dots \\ \vdots \\ \dots \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} r_{1n}^k \\ r_{2n}^k \\ \vdots \\ r_{mn}^k \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (16)$$

Onde, $r_{ij}^k = (\mu_{A_i}(c_j), \nu_{A_i}(c_j), \pi_{A_i}(c_j))$ e representa a avaliação do tomador de decisão k em relação ao critério j para a alternativa i . Os resultados das avaliações individuais R_d devem então ser agregados em uma matriz de tomada de decisão conjunta R' , utilizando um operador de agregação, em que as linhas são as alternativas e as colunas os critérios.

Para a determinação do vetor de pesos dos critérios, a importância de cada critério x_j deve ser avaliada por cada tomador de decisão k . Seja $W_j^k = (\mu_j^k, \nu_j^k, \pi_j^k)$ um número *fuzzy* intuicionista para o critério x_j , então o peso de cada critério é calculado utilizando um operador de agregação (ver na Seção 3.6.1), obtendo-se assim o vetor de pesos W para os critérios.

Seja $(\mu_{A_i}(x), \nu_{A_i}(x), \pi_{A_i}(x))$ um número *fuzzy* intuicionista de avaliação agregada da alternativa A_i na matriz R' . Então a construção da matriz agregada ponderada pelo vetor de pesos W é realizada para cada um dos elementos das colunas (correspondentes aos critérios) segundo as equações (17) e (18) (ATANASSOV, 1986).

$$R' \otimes W = \{ \langle x, \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_w(x), \nu_{A_i}(x) + \nu_w(x) - \nu_{A_i}(x) \cdot \nu_w(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (17)$$

$$\pi_{A_i}(x) = 1 - \nu_{A_i}(x) - \nu_w(x) - \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_w(x) + \nu_{A_i}(x) \cdot \nu_w(x) \quad (18)$$

Para realizar a ordenação das alternativas, os artigos estudados utilizam as propriedades de técnicas de tomada de decisão, como por exemplo, o TOPSIS (BORAN *et al.*, 2009; ALOINI; DULMIN; MININNO, 2014; ROUYENDEGH, 2014). Baseado no TOPSIS, para cada critério x_j ($j = 1, \dots, n$), deve-se calcular a solução *fuzzy* intuicionista ideal positiva (A^*) e a solução *fuzzy* intuicionista ideal negativa (A^-) segundo as equações (19) à (27) (BORAN *et al.*, 2009).

$$A^* = (\mu_{A^*W}(x_j), \nu_{A^*W}(x_j)); A^- = (\mu_{A^-W}(x_j), \nu_{A^-W}(x_j)) \quad (19)$$

No qual, para os critérios de benefício se utilizam as equações 20 a 23 a seguir:

$$\mu_{A^*W}(x_j) = \max_i \mu_{A_i.W}(x_j) \quad (20)$$

$$\nu_{A^*W}(x_j) = \min_i \nu_{A_i.W}(x_j) \quad (21)$$

$$\mu_{A^-W}(x_j) = \min_i \mu_{A_i.W}(x_j) \quad (22)$$

$$\nu_{A^-W}(x_j) = \max_i \nu_{A_i.W}(x_j) \quad (23)$$

E para os critérios de custo, se aplicam as equações 24 a 27 a seguir:

$$\mu_{A^*W}(x_j) = \min_i \mu_{A_i.W}(x_j) \quad (24)$$

$$\nu_{A^*W}(x_j) = \max_i \nu_{A_i.W}(x_j) \quad (25)$$

$$\mu_{A^-W}(x_j) = \max_i \mu_{A_i.W}(x_j) \quad (26)$$

$$\nu_{A^-W}(x_j) = \min_i \nu_{A_i.W}(x_j) \quad (27)$$

Para calcular a distância entre as avaliações agregadas e ponderadas das alternativas e as soluções ideais calculadas, também baseado no TOPSIS, utiliza-se a distância Euclidiana normalizada proposta por Szmidt e Kacprzyk (2000). A Equação (28) calcula a distância entre as alternativas analisadas e a solução *fuzzy* intuicionista ideal positiva (A^*). Já a Equação (29) calcula a distância entre as alternativas e a solução *fuzzy* intuicionista ideal negativa (A^-).

$$S^+ = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \left[(\mu_{A_i W}(x_j) - \mu_{A^+ W}(x_j))^2 + (v_{A_i W}(x_j) - v_{A^+ W}(x_j))^2 + (\pi_{A_i W}(x_j) - \pi_{A^+ W}(x_j))^2 \right]} \quad (28)$$

$$S^- = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \left[(\mu_{A_i W}(x_j) - \mu_{A^- W}(x_j))^2 + (v_{A_i W}(x_j) - v_{A^- W}(x_j))^2 + (\pi_{A_i W}(x_j) - \pi_{A^- W}(x_j))^2 \right]} \quad (29)$$

A obtenção da ordenação das alternativas se dá com o cálculo do coeficiente de proximidade relativa entre as alternativas para a solução intuicionista ideal positiva e negativa. Dessa forma, a Equação (30) é utilizada para a obtenção do coeficiente de proximidade (CC_i).

$$C_{Ci} = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (30)$$

Após a obtenção dos coeficientes, as alternativas devem ser classificadas de forma decrescente, sendo que quanto maior for o coeficiente, melhor é a indicação da alternativa para ser selecionada.

3.3. INTERVAL-VALUED INTUITIONISTIC FUZZY

Devido ao aumento da complexidade dos problemas de tomada de decisão em situações reais, e a falta de informações precisas sobre o domínio do problema, o Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Set (IvIFS - conjunto *fuzzy* intuicionista com intervalos) pode ser uma solução eficaz para representar informações incertas (NGUYEN, 2016). Existem poucas pesquisas sobre tomadas de decisão multicritério envolvendo vários tomadores de decisão e sobre um conjunto *fuzzy* intuicionista com intervalo (CHEN *et al.*, 2011). Gitinavard *et al.* (2016), apresenta essa ferramenta como uma das mais modernas e adequadas teorias de conjunto *fuzzy* para tratar as opiniões dos tomadores de decisão que expressam suas preferências e julgamentos, atribuindo alguns graus de valores de intervalo para um elemento sob um conjunto com margem de erros. Dessa forma, ressalta-se a importância de analisar essa técnica que vem sendo utilizada para tomada de decisão em grupo para seleção de fornecedores.

O IvIFS tem a intenção de superar limitações de representar as incertezas presentes no *Intuitionistic fuzzy set*. Assim, o IvIFS considera o grau de pertencimento e não

pertencimento sendo expressos não exatamente como um número, mas sim como um intervalo completo. Este fato atribui uma incerteza adicional ao conceito original do *Intuitionistic fuzzy*. Yue e Jia (2013) apresentam as definições básicas do IvIFS. Seja $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ um universo de discurso, então um IvIFS $\tilde{A}$ em X pode ser representado por:

$$\tilde{A} = \{\langle x_j, \mu_{\tilde{A}}(x_j), \nu_{\tilde{A}}(x_j) \rangle \mid x_j \in X\}$$

Onde $\mu_{\tilde{A}}(x_j) = [\mu_{\tilde{A}}^l(x_j), \mu_{\tilde{A}}^u(x_j)] \subseteq [0,1]$ e $\nu_{\tilde{A}}(x_j) = [\nu_{\tilde{A}}^l(x_j), \nu_{\tilde{A}}^u(x_j)] \subseteq [0,1]$ são intervalos, $\mu_{\tilde{A}}^l(x_j) = \inf \mu_{\tilde{A}}(x_j)$, $\mu_{\tilde{A}}^u(x_j) = \sup \mu_{\tilde{A}}(x_j)$, $\nu_{\tilde{A}}^l(x_j) = \inf \nu_{\tilde{A}}(x_j)$, $\nu_{\tilde{A}}^u(x_j) = \sup \nu_{\tilde{A}}(x_j)$, e $\mu_{\tilde{A}}^u(x_j) + \nu_{\tilde{A}}^u(x_j) \leq 1$, para todo $x_j \in X$, e $\pi_{\tilde{A}}(x_j) = [\pi_{\tilde{A}}^l(x_j), \pi_{\tilde{A}}^u(x_j)]$, onde $\pi_{\tilde{A}}^l(x_j) = 1 - \mu_{\tilde{A}}^u(x_j) - \nu_{\tilde{A}}^u(x_j)$, $\pi_{\tilde{A}}^u(x_j) = 1 - \mu_{\tilde{A}}^l(x_j) - \nu_{\tilde{A}}^l(x_j)$, para todo $x_j \in X$. Caso $\mu_{\tilde{A}}^l(x_j) = \mu_{\tilde{A}}^u(x_j)$ e $\nu_{\tilde{A}}^l(x_j) = \nu_{\tilde{A}}^u(x_j)$, então $\tilde{A}$ é simplificado para um IFS.

As principais operações utilizadas são apresentadas em Xu (2007): seja $\tilde{\alpha}_1 = ([a_1, b_1], [c_1, d_1])$, $\tilde{\alpha}_2 = ([a_2, b_2], [c_2, d_2])$, onde a_1 e a_2 são os limites inferiores dos graus de pertencimento; b_1 e b_2 são os limites superiores dos graus de pertencimento; c_1 e c_2 são os limites inferiores dos graus de não pertencimento; d_1 e d_2 são os limites superiores dos graus de não pertencimento; então as equações (31) e (32) são descritas a seguir:

$$\tilde{\alpha}_1 + \tilde{\alpha}_2 = ([a_1 + a_2 - a_1 \cdot a_2, b_1 + b_2 - b_1 \cdot b_2], [c_1 \cdot c_2, d_1 \cdot d_2]) \quad (31)$$

$$\lambda \tilde{\alpha} = ([1 - (1 - a)^\lambda, 1 - (1 - b)^\lambda], [c^\lambda, d^\lambda]), \lambda > 0 \quad (32)$$

Após coletar as avaliações individuais dos tomadores de decisão, a aplicação da técnica *Interval-valued Intuitionistic Fuzzy* normalmente envolve quatro etapas: normalização das matrizes de tomada de decisão; cálculo dos valores de avaliação coletiva com a ponderação dos decisores; cálculo dos valores globais de avaliação com a ponderação dos critérios e; cálculo das medidas de conhecimento (NGUYEN, 2016).

Na primeira fase, as matrizes de tomada de decisão devem ser normalizadas tal como as equações (33) e (34), onde $r_{ij}^{(k)}$ é o elemento ij da matriz para o decisor k .

Para os critérios de benefícios x_j :

$$r_{ij}^{(k)} = \langle [\mu_{r_{ij}}^l, \mu_{r_{ij}}^u], [v_{r_{ij}}^l, v_{r_{ij}}^u] \rangle \quad (33)$$

Para os critérios de custo x_j :

$$r_{ij}^{(k)} = \langle [v_{r_{ij}}^l, v_{r_{ij}}^u], [\mu_{r_{ij}}^l, \mu_{r_{ij}}^u] \rangle \quad (34)$$

Na Fase 2, as opiniões individuais devem ser agregadas utilizando um operador de agregação, obtendo assim, uma matriz de tomada de decisão em grupo. Dessa forma, os valores da avaliação coletiva são derivados para as alternativas e critérios analisados. A terceira fase implica na utilização novamente do operador de agregação para ponderar as avaliações globais segundo os pesos dos critérios analisados.

Aplicando os operadores de agregação, é possível obter a matriz de avaliações agregadas, que busca unificar as diversas opiniões dos diferentes tomadores de decisão. Após a obtenção dessa matriz é possível calcular índices para ordenação dos fornecedores potenciais. Sendo assim, a Fase 4 consiste na definição e aplicação dos cálculos que serão utilizados para atribuir uma pontuação para as alternativas analisadas. Nguyen (2016) aplica a medição de conhecimento do IvIF ($K_F^l(z_i)$) conforme as equações (35) à (37).

$$K_F^l(z_i) = [K_F(z_i^-), K_F(z_i^+)] \quad (35)$$

No qual,

$$K_F(z_i^-) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\mu_{z_i}^l)^2 + (v_{z_i}^l)^2 + (\mu_{z_i}^l + v_{z_i}^l)^2} \quad (36)$$

$$K_F(z_i^+) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\mu_{z_i}^u)^2 + (v_{z_i}^u)^2 + (\mu_{z_i}^u + v_{z_i}^u)^2} \quad (37)$$

Sendo $K_F^l(z_i)$ com $[\mu_{z_i}^l, \mu_{z_i}^u] \geq [v_{z_i}^l, v_{z_i}^u]$ denotado como medição de intervalo de conhecimento positivo, e $K_F^l(z_i)$ com $[\mu_{z_i}^l, \mu_{z_i}^u] < [v_{z_i}^l, v_{z_i}^u]$ denotado como medição de intervalo de conhecimento negativo para a alternativa i . A interpretação da medida de conhecimento com intervalos para os IvIFS é que ele fornece quantidade não exata de conhecimento, mas um intervalo de medida de conhecimento de IVFs pertencentes aos

IvIFS z_i , de $K_F(z_i^-)$ mínimo à $K_F(z_i^+)$ máximo. O objetivo é selecionar a melhor alternativa com o maior valor positivo de grau de pertencimento na medição de intervalo de conhecimento (NGUYEN, 2016).

3.4. HESITANT FUZZY SETS

O *Hesitant fuzzy Sets (HFS)* foi apresentado por Torra (2010), e atraiu muita atenção recentemente devido a sua capacidade de representar incertezas e imprecisão (LIAO *et al.*, 2014). No método de representação *Hesitant fuzzy* os tomadores de decisão não precisam realizar uma avaliação pontual, podendo definir um intervalo linguístico no qual a avaliação está contida. Esta técnica pode ser utilizada também para agregação de avaliações de vários tomadores de decisão, trabalhando com os intervalos que foram citados na avaliação pelos tomadores de decisão (RODRIGUEZ; MARTINEZ; HERERRA, 2013).

Segundo Torra (2010), a maior dificuldade nos problemas de tomada de decisão é estabelecer o grau de adesão de um elemento devido ao conjunto de valores possíveis, o que pode causar dúvidas e incertezas nos tomadores de decisão ao ter que avaliar pontualmente uma alternativa. Dessa forma, a motivação para o desenvolvimento dessa técnica foi propor um método diferente de avaliação das alternativas, na qual a dificuldade de estabelecer o grau de adesão não é porque temos uma margem de erro (como em IFS), ou alguma distribuição de possibilidade (como nos conjuntos *fuzzy* de tipo 2). Os conjuntos *Hesitante Fuzzy* são definidos em termos de uma função que retorna um conjunto de valores de associação para cada elemento no domínio.

Alguns trabalhos encontrados na literatura propõem métodos para a utilização da representação *Hesitante Fuzzy*. Rodríguez; Martínez e Herrera (2012), propõe uma análise multicritério na qual são utilizados os operadores “*Min_upper*” (mínimo dos maiores) e “*Max_lower*” (máximo dos menores), com o objetivo de eliminar as avaliações mais extremas e que podem influenciar negativamente na solução. Já em Rodríguez; Mart e Herrera (2013), é proposto uma avaliação pareada entre todas as alternativas, sendo que na fase de agregação das avaliações é utilizado o operador de agregação média aritmética com base nas definições *2-tuple*. Zhang *et al.*(2013) e Liao, Xu e Zeng (2014) apresentam abordagens baseadas em medidas de distância e similaridade para a tomada de decisão multicritério com HFLTSSs. Finalmente, Darabi e Heydari (2016), apresenta um novo

método de *Interval-valued Hesitant Fuzzy* no qual o peso de cada perito é computado pelo método da entropia estendida no ambiente IvHFSs e utilizado no procedimento da determinação do peso dos critérios.

Na aplicação da técnica, os tomadores de decisão fornecem suas avaliações por meio de expressões linguísticas baseadas em termos comparativos próximos das expressões usadas pelo ser humano (acima de..., abaixo de..., entre... e....) ou por meio de termos linguísticos únicos (ÖZTAYŞI *et al.*, 2015). A Figura 9 exemplifica algumas das possibilidades de avaliações no HFS. Na Figura 9(a), pode-se observar uma avaliação pontual relacionada somente ao nível médio. A Figura 9(b) exemplifica uma avaliação com a expressão linguística “menor ou igual a Baixo”, ativando as regiões “Baixo” e “Muito Baixo”. Na Figura 9(c), a expressão linguística “entre médio e alto” é representada pela ativação das regiões “Médio” e “Alto”. Finalmente, na Figura 9(d), observa-se a ativação das regiões “Alto” e “Muito Alto” por meio da utilização da expressão linguística “maior do que Médio”. Dessa forma, nota-se a gama de possibilidades de avaliações que a técnica *Hesitant Fuzzy* permite ao tomador de decisão utilizar para expressar sua opinião.

Figura 9: Representação das avaliações utilizadas no HFS.

Fonte: Própria autoria.

3.4.1. Definições básicas do Hesitante Fuzzy Set

Dado um conjunto fixo X , um conjunto *Hesitante Fuzzy* (Hesitant Fuzzy Set - *HFS*), E em X é uma função que quando aplicada a X retorna um subconjunto no intervalo $[0,1]$. Matematicamente, é representado por (TORRA, 2010; ZHANG *et al.*, 2013):

$$\tilde{E} = \{\langle x, \tilde{h}_E(x) \mid x \in X \rangle\}$$

onde $\tilde{h}_E(x)$ é um conjunto de algum valor no intervalo $[0,1]$, denotando os graus de pertencimento possíveis do elemento $x \in X$ ao conjunto E . Um elemento *hesitant fuzzy* (hesitant fuzzy element - HFE) pode ser representado por $h = h_E(x)$; e H como o conjunto de todos os HFEs (ZHANG *et al.*, 2013).

Algumas propriedades de agregação para HFEs são descritas por Torra (2010) e Zhang *et al.* (2013). Dado três *HFEs* representados por h , h_1 e h_2 , e seja γ o valor representante do termo linguístico ativado então:

$$\tilde{h}^c = \bigcup_{\gamma \in \tilde{h}} (1 - \gamma) \quad (38)$$

$$\tilde{h}_1 \cup \tilde{h}_2 = \bigcup_{\gamma_1 \in \tilde{h}_1, \gamma_2 \in \tilde{h}_2} \{Max\{\gamma_1, \gamma_2\}\} \quad (39)$$

$$\tilde{h}_1 \cap \tilde{h}_2 = \bigcap_{\gamma_1 \in \tilde{h}_1, \gamma_2 \in \tilde{h}_2} \{Min\{\gamma_1, \gamma_2\}\} \quad (40)$$

Torra (2010) também apresenta as seguintes definições: Seja $\tilde{E} = \{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ um conjunto de n *HFEs*, Θ é função em E , $\Theta: [0, 1]^N \rightarrow [0, 1]$, então,

$$\Theta_E = \bigcup_{\gamma \in \{\tilde{h}_1, \tilde{h}_2, \dots, \tilde{h}_n\}} \{\Theta(\gamma)\} \quad (41)$$

Com base na relação entre os HFEs e os valores *intuitionistic fuzzy*, Zhang *et al.* (2013) apresenta algumas operações nos HFEs definidas por Xia e Xu (2011): dado h , h_1 e h_2 , podemos ter as seguintes propriedades:

$$\tilde{h}^\lambda = (\bigcup_{\gamma \in \tilde{h}} \{\gamma^\lambda\}) \quad (42)$$

$$\lambda \tilde{h} = (\cup_{\gamma \in \tilde{h}} \{1 - (1 - \gamma)^\lambda\}) \quad (43)$$

$$\tilde{h}_1 \oplus \tilde{h}_2 = (\cup_{\gamma_1 \in \tilde{h}_1, \gamma_2 \in \tilde{h}_2} \{\gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_1 \gamma_2\}) \quad (44)$$

$$\tilde{h}_1 \otimes \tilde{h}_2 = \cup_{\gamma_1 \in \tilde{h}_1, \gamma_2 \in \tilde{h}_2} \{\gamma_1 \gamma_2\} \quad (45)$$

3.4.2. *Hesitant fuzzy* aplicado à tomada de decisão

Apesar de terem sido encontrados diferentes aplicações da representação *hesitant fuzzy*, ainda são poucos os estudos que utilizam tal técnica para tomada de decisão em grupo na avaliação e seleção de fornecedores. A quantidade de passos utilizados para a aplicação do HFS varia de acordo com a proposta de aplicação de cada autor. Entretanto, três passos básicos são propostos por Rodríguez, Martínez e Herrera (2012): avaliação, agregação e ordenação. Esses passos são seguidos após a obtenção dos pesos dos critérios e ponderação dos tomadores de decisão, caso necessário.

Inicialmente os tomadores de decisão avaliam as alternativas como exemplificado no Quadro 6. As expressões utilizadas são transformadas em conjuntos de termos linguísticos *hesitant fuzzy* (*Hesitant Fuzzy Linguistic Terms Set* -HFLTS), conforme apresentado no Quadro 7 e ilustrado na Figura 9. Duas abordagens diferentes podem ser aplicadas para o processamento das avaliações. Na primeira abordagem, as avaliações podem ser realizadas de forma anônima, com o intuito de evitar influências, e tendo como resultado a matriz agregada com todos os conjuntos *fuzzy* ativados pelo grupo de decisores para a avaliação da alternativa no critério (GU; WANG; YANG, 2011). Posteriormente, um operador de agregação é utilizado para a obtenção da pontuação do desempenho das alternativas.

Na segunda abordagem, cada tomador de decisão avalia o desempenho das alternativas em cada um dos critérios (matriz de julgamentos). Em seguida, as matrizes de julgamentos dos tomadores de decisão são agregadas usando um operador de agregação. A partir da matriz agregada, são calculadas as pontuações para cada alternativa, que são ordenadas para a seleção das melhores soluções. Técnicas como a matriz de preferência, grau de escolha não dominante, ELECTRE, PROMETHEE (PENG *et al.*, 2015; HAJLAOIUI; HALOUANI, 2013; RODRÍGUEZ; MARTÍNEZ; HERRERA, 2012), entre outras, podem ser utilizadas para o cálculo das pontuações das alternativas.

Para o caso estudado no presente trabalho, a primeira abordagem foi aplicada, na qual o próprio operador de agregação foi utilizado para a obtenção da pontuação e ordenação das alternativas. O operador de agregação aplicado é apresentado na Seção 3.6.3.

Quadro 6: Expressões linguísticas utilizadas.

Alternativas	Critérios		
	C1	C2	C3
A1	Entre muito baixo e médio.	Entre alto e muito alto.	Alto.
A2	Entre baixo e médio.	Médio.	Acima de baixo.
A3	Melhor que alto	Entre muito baixo e baixo.	Melhor que médio.

Fonte: Própria autoria.

Quadro 7: Conjuntos de termos linguísticos *hesitant fuzzy*.

Alternativas	Critérios		
	C1	C2	C3
A1	MB, B, M	A, MA	A
A2	B, M	M	M, A, MA
A3	A, MA	MB, B	A, MA

Fonte: Própria autoria.

3.5. INTERVAL-VALUED HESITANT FUZZY (IVHFS)

Em diversos problemas de tomada de decisão real, devido à insuficiência de informações disponíveis, pode ser difícil para os tomadores de decisão quantificar exatamente suas opiniões com números pontuais, mas eles podem ser representados por um intervalo dentro de $[0, 1]$ (PENG *et al.*, 2014). Dessa forma, pode-se adotar o conceito de conjuntos *hesitante fuzzy* com intervalos (IVHFSs), que permitem que os graus de pertencimento de um elemento a um determinado conjunto tenham alguns valores de intervalo diferentes (CHEN NA *et al.*, 2013). Esse tipo de situação é semelhante à encontrada nas aplicações do *Interval-valued Intuitionistic Fuzzy*, onde o conceito de IFSs foi estendido para o de IFSs com intervalos.

Segundo Gitinavard *et al.* (2016), a teoria IvHFS não vem sendo adequadamente considerada para resolver os problemas de tomada de decisão do grupo em aplicações na vida real. O autor apresenta um modelo de tomada de decisão em grupo utilizando IvHFSs para seleção de fornecedores, com o objetivo de avaliar e classificar as alternativas candidatas em relação aos critérios selecionados.

Seja X um conjunto de referência, e seja $D[0,1]$ um conjunto de todos os subintervalos de $[0,1]$, então um IvHFS em X pode ser definido como (PENG *et al.*, 2014):

$$\tilde{E} = \{ \langle x, \tilde{h}_{\tilde{E}}(x) \mid x \in X \rangle \}$$

Na qual $\tilde{h}_{\tilde{E}}(x): x \rightarrow [0,1]$ representa todos os valores possíveis de grau de pertencimento do elemento $x \in X$ para o conjunto $\tilde{E}$. Matematicamente, um elemento interval-valued hesitant fuzzy (IvHFE), $\tilde{h}_{\tilde{E}}(x)$ é representado por (CHEN *et al.*, 2013):

$$\tilde{h}_{\tilde{E}}(x) = \cup_{\gamma \in \tilde{h}_{\tilde{E}}(x)} \{ \gamma = [\gamma^L, \gamma^U] \} \quad (46)$$

Seja $\tilde{h}$, $\tilde{h}_1$ e $\tilde{h}_2$ três IvHFEs. PENG *et al.* (2013) e CHEN *et al.* (2013) apresentam as seguintes propriedades:

$$\lambda \tilde{h} = \cup_{\gamma \in \tilde{h}} \{ [1 - (1 - \gamma^L)^\lambda, 1 - (1 - \gamma^U)^\lambda] \} \quad (47)$$

$$\tilde{h}^\lambda = \cup_{\gamma \in \tilde{h}} \{ [(\gamma^L)^\lambda, (\gamma^U)^\lambda] \} \quad (48)$$

$$\tilde{h}_1 \oplus \tilde{h}_2 = (\cup_{\gamma_1 \in \tilde{h}_1, \gamma_2 \in \tilde{h}_2} \{ \gamma_1^L + \gamma_2^L - \gamma_1^L \gamma_2^L, \gamma_1^U + \gamma_2^U - \gamma_1^U \gamma_2^U \}) \quad (49)$$

$$\tilde{h}_1 \otimes \tilde{h}_2 = \cup_{\gamma_1 \in \tilde{h}_1, \gamma_2 \in \tilde{h}_2} \{ [\gamma_1^L \gamma_2^L, \gamma_1^U \gamma_2^U] \} \quad (50)$$

A aplicação da abordagem IvHF na tomada de decisão segue os mesmos passos e princípios do HF. Entretanto, para o cálculo da pontuação final dos tomadores de decisão e ordenação de preferências, são aplicados cálculos comparativos (CHAI; NGAI, 2015).

Seja $S(\tilde{a}_1) = [\gamma_1^L, \gamma_1^U]$ e $S(\tilde{a}_2) = [\gamma_2^L, \gamma_2^U]$ duas pontuações médias ponderadas; pode-se comparar as preferências entre as duas alternativas por meio da Equação (51).

$$p(\tilde{a}_1 \geq \tilde{a}_2) = \max\left\{1 - \max\left(\frac{\gamma_2^U - \gamma_1^L}{(\gamma_1^U - \gamma_1^L) + (\gamma_2^U - \gamma_2^L)}\right); 0\right\}, \quad (51)$$

onde $p(\tilde{a}_1 \geq \tilde{a}_2)$ é o grau de preferência da alternativa 1 sobre a alternativa 2. Caso $p(\tilde{a}_1 \geq \tilde{a}_2) \geq 0,5$, então a alternativa 1 é preferencial sobre a alternativa 2. Dessa forma, comparando-se par-a-par as magnitudes dos intervalos de valores $S(\tilde{a}_i)$ para $i=1, 2, \dots, n$ (n é o número de alternativas avaliadas), pode-se estruturar a ordenação de preferência entre todas as alternativas.

3.6. OPERADORES DE AGREGAÇÃO FUZZY

O problema de tomada de decisão em grupo para problemas multicritério envolvem a avaliação de valores agregados, ou pontuações, fornecidos a partir de múltiplas fontes com conhecimento e experiências variados. Sendo assim, o processo de tomar uma decisão com base em muitos dados de entrada é tido como desafiador, particularmente quando não há critérios de classificação claros, ou as avaliações são subjetivas (SMOLÍKOVÁ; WACHOWIAK, 2002). Segundo Yager, Kacprzyk e Beliakov (2011), operações de agregação de dados é uma das áreas mais promissoras da teoria dos conjuntos *fuzzy*, promovendo a integração da lógica e o processo de tomada de decisão.

Ao tomar uma decisão multicritério, os decisores podem assumir várias atitudes, como otimista, pessimista ou neutra. Existem diferentes operadores de agregação *fuzzy* que representam essas diferentes atitudes. Por exemplo, intersecção *fuzzy*, união *fuzzy* e operadores de média *fuzzy* refletem a atitude pessimista, otimista e neutra, respectivamente (JUN LI *et al.*, 2004).

Por meio da revisão sistemática realizada na seção 2.3, foi possível identificar a proposta de diversos operadores de agregação para conciliar as opiniões distintas dos decisores, buscando o consenso mais adequado para a resolução dos problemas. Como o escopo do presente trabalho limita-se ao estudo das técnicas *intuitionistic fuzzy*, *Hesitant fuzzy* e suas variações, os artigos identificados pela revisão que utilizam essas técnicas,

foram consultados para realização do levantamento dos operadores de agregação utilizados nos julgamentos e/ou ponderação de pesos. A seguir são apresentados os resultados do levantamento nos quadros de 8 até 11, com as representações *intuitionistic fuzzy*, *interval-valued intuitionistic fuzzy*, *hesitant fuzzy* e *interval-valued hesitant fuzzy* respectivamente.

Quadro 8: Operadores de agregação utilizados na representação *Intuitionistic fuzzy*.

Referências	Há ponderação de pesos? Se sim, quais são as técnicas ou métodos?	Há agregação de julgamentos? Se sim, quais são as técnicas ou métodos?
Tong e Wang (2016)	Sim. IOWA (<i>Intuitionistic Induced Ordered Weighted Averaging</i>).	Sim. IOWA (<i>Intuitionistic Induced Ordered Weighted Averaging</i>).
Aggarwal (2015a)	Sim. Definido a priori.	WIOWA (<i>Weighted Induced Generalized Ordered Weighted Averaging</i>).
Aggarwal (2015b)	Sim. CWA (<i>Compensative Weighted Averaging</i>).	Sim. COWA (<i>Compensative Ordered Weighted Averaging</i>) e CIOWA (<i>Compensative Induced Ordered Weighted Averaging</i>).
Ju, Yang e Wang (2014)	Sim. ITrFLWA (<i>Intuitionistic Trapezoid Fuzzy Linguistic Weighted Average</i>)	Sim. ITrFLWA (<i>Intuitionistic Trapezoid Fuzzy Linguistic Weighted Average</i>); ITrFLOWA (<i>Intuitionistic Trapezoid Fuzzy Linguistic Ordered Weighted Average</i>); ITrFLHWA (<i>Intuitionistic Trapezoid Fuzzy Linguistic Hybrid Weighted Average</i>).
Khaleie, Fasanghari e Tavassoli (2012)	Sim. Definido a priori.	Sim. IFWG (<i>Intuitionistic Fuzzy Weighted Geometric</i>).
Wan e Li (2014)	Sim. Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Programming Method.	Não.
Wan e Dong (2015)	Sim. TrIFPG (<i>Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Power Geometric</i>).	Sim. TrIFPG (<i>Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Power Geometric</i>); TrIFPWG (<i>Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Power Weighted Geometric</i>); TrIFPOWG (<i>Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Power Ordered Weighted Geometric</i>); TrIFPHG (<i>Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Power Hybrid Geometric</i>).
Wang et al. (2016)	Sim. <i>Ordered pairwise comparison method</i> .	Sim. IFWAO (<i>Intuitionistic Fuzzy Weighted Average Ordered</i>).
Wang et al. (2013)	Sim. Grau de similaridade.	Sim. DIFOWA (<i>Dependent Intuitionistic Fuzzy Ordered Weighted Averaging</i>); DIFHWA (<i>Dependent Intuitionistic Fuzzy Hybrid Weighted Averaging</i>).

Continua na próxima página.

Continuação Quadro 8: Operadores de agregação utilizados na representação *Intuitionistic fuzzy*.

Wang e Lv (2015)	Sim. Definido a priori.	Sim. I-IFEHA (<i>Induced Intuitionistic Fuzzy Einstein Hybrid Aggregation Operator</i>).
Wen e Xu (2013)	Sim. Proposição de formula	Sim. Aggregated weighted intuitionistic fuzzy decision matrix.
Yu et al. (2014)	Sim. Definido a priori	Sim. TIFBM (<i>Triangular Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Bonferroni Mean</i>) e TIFWBM (<i>Triangular Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Weighted Bonferroni Mean</i>).
Yue (2014a)	Não	Sim. Additive weighted average operator.
Yue (2014b)	Sim. <i>Extended</i> TOPSIS	Sim. IFWA (<i>Intuitionistic Fuzzy Weighted Average</i>).
Aloini et al. (2014)	Sim. Peer group decision making	Sim. IFWA (<i>Intuitionistic Fuzzy Weighted Average</i>).
Boran et al. (2009)	Sim. Proposição de uma.	Sim. IFWA (<i>Intuitionistic Fuzzy Weighted Average</i>).
Roostae et al. (2012)	Sim. Matriz de decisão	Sim, VIKOR
Rouyendegh (2015)	Sim. ANP	Intuitionistic Fuzzy TOPSIS (IFT)
Rouyendegh (2014)	Sim. Proposição de uma formula.	Sim. IFWA (<i>Intuitionistic Fuzzy Weighted average</i>).
Wang e Xu (2016)	IHFWG (<i>Intuitionistic-valued Hesitant Fuzzy Weighted Geometric Operator</i>) e GIHFWG (<i>Generalized Intuitionistic-valued Hesitant Fuzzy Weighted Geometric operator</i>).	IHFWG (<i>Intuitionistic-valued Hesitant Fuzzy Weighted Geometric Operator</i>) e GIHFWG (<i>Generalized Intuitionistic-valued Hesitant Fuzzy Weighted Geometric operator</i>).
Wan e Li (2013)	Sim. Programação linear	Sim. Programação linear
Gümüş (2017)	Sim. Definido a priori	Sim. Dynamic Intuitionistic fuzzy Einstein averaging (DIFWA)e Dynamic Intuitionistic fuzzy Einstein Geometric averaging (DIFWG)
Büyüközkan and Göçer (2017a)	Sim, AHP	intuitionistic fuzzy weighted averaging (IFWA)
Shariati et al., (2017)	Sim, Intuitionistic fuzzy pairwise comparisons	Intuitionistic fuzzy pairwise comparisons
Yang, Chen, e Zhang (2017).	Sim, TOPSIS	Intuitionistic fuzzy weighted averaging (IFWA)
Wan, Lin e Dong, (2017).	Sim, triangular Atanassov's intuitionistic fuzzy weighted average (TAIFWA)	Triangular Atanassov's intuitionistic fuzzy weighted average (TAIFWA)

Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 9: Operadores de agregação utilizados na representação *Interval-valued Intuitionistic fuzzy*.

Referências	Há ponderação de pesos? Se sim, quais são as técnicas ou métodos?	Há agregação de julgamentos? Se sim, quais são as técnicas ou métodos?
Chen et al. (2013)	Sim. Definido a priori.	Sim. IvIFWGA (<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Weighted Geometric Average Operator</i>) e IvIFHA (<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Hybrid Averaging Operator</i>).
Ebrahimnejad et al. (2015)	Sim. IvIFWGA (<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Weighted Geometric Average Operator</i>).	Sim. IvIFWGA (<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Weighted Geometric Average Operator</i>).
Li et al. (2014)	Não.	Sim. IvIFPWA (<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Power Weighted Average Operator</i>).
Qi et al. (2013)	Sim. Entropia e similaridade.	Sim. IvIFWA (<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Hybrid Averaging Operator</i>).
Zhang et al. (2013)	Sim. <i>Dynamic Fuzzy Sets method</i> .	Sim. <i>Dynamic Fuzzy Sets method</i> .
Qin et al. (2015)	Sim. <i>Maximum entropy optimization model e Choquet integral</i> .	Sim. IvIFWA (<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Weighted Average Operator</i>).
Izadikhah (2012)	Sim. Ideal matrix.	Média ponderada aritmética.
Xu e Shen (2014)	Sim. Entropy weights.	AIvIFS (<i>Arithmetical Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Shapley</i>).
Zhou e Yao (2014)	Sim. IVITFGBM (<i>Interval-valued intuitionistic trapezoidal fuzzy geometric bonferroni means</i>).	Sim. IVITFGWBM (<i>Interval-valued Intuitionistic Trapezoidal Fuzzy Geometric Weighted Bonferroni Means</i>).
Chen et al. (2011)	Sim. Programação Linear	Sim. IvIFWA (<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Hybrid Averaging Operator</i>).
Qi et al. (2015)	Sim. Modelo <i>generalized cross-entropy</i> .	Sim. IvIFWA (<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Hybrid Averaging Operator</i>).
Zhang et al. (2013)	Sim. Programação Linear	Não.
Ch al. (2013)	Sim. <i>Degree of similarity</i>	Sim. IvIFWA (<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Hybrid Averaging Operator</i>).
Yue e Jia (2013)	Sim. Definido a priori.	Sim. IvIFWA (<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Hybrid Averaging Operator</i>).
Yue e Jia (2015)	Sim. Definido a priori.	Sim. Média ponderada.
Afzali et al. (2016)	Sim. TOPSIS	Sim. Média ponderada
Zhang, Ju e Liu (2017)	Sim, comprehensive relative closeness degree	Sim, LINear programming technique for Multidimensional Analysis of Preference (LINMAP)
Ren et al, 2017	Sim, optimization model	Sim, TOPSIS
Büyüközkan and Göçer (2017b)	Sim, AHP	Sim, IvIF Additive Ratio Assessment (ARAS)

Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 10: Operadores de agregação para a representação *hesitant fuzzy*.

Referências	Há ponderação de pesos? Se sim, quais são as técnicas ou métodos?	Há agregação de julgamentos? Se sim, quais são as técnicas ou métodos?
Kahraman <i>et al.</i> (2016)	Não	Sim. 2 – <i>Tuple Mean</i> .
Shan <i>et al.</i> (2016)	Sim. <i>Normal distribution based method</i> .	Sim. ITWHM (<i>Interval 2-tuple Weighted Harmonic Mean</i>).
Yu <i>et al.</i> (2016)	Sim. Definido a priori.	Sim. DHFWM (<i>Dual Hesitant Fuzzy Weighted Heronian Mean Operator</i>).
Zhang <i>et al.</i> (2016)	LINMAP (<i>Linear Programming Techniques for Multidimensional Analysis of Preference</i>).	Sim. <i>Hesitant Fuzzy Mathematical Programming Technique</i> .
Fahmi <i>et al.</i> (2016)	Sim, Média aritmética das avaliações.	Sim. OWA (<i>Ordered Weighted Averaging</i>).
Ai, Yang e Xhang (2014)	Não.	Sim. HFWA (<i>Hesitant Fuzzy Weighted Average</i>); HFWG (<i>Hesitant Fuzzy Weighted Geometric</i>).
Xue e Du, (2017)	Sim, Fuzzy Power Weighted Average (FPWA)	Sim, additive consistency and the order consistency with consistency degrees.
Liu <i>et al.</i> , (2017)	Sim, hesitant fuzzy linguistic weighted arithmetic averaging operator	Sim, hesitant fuzzy linguistic hybrid averaging operator.
Wang e Cai, (2017).	Sim, VIKOR	Sim, distance measure for HFLTS based on the 2-tuple linguistic approach.
Qu <i>et al.</i> , (2017)	Não	Sim, Shapley dual hesitant fuzzy Choquet averaging operator (SDHFCA) and Shapley dual hesitant fuzzy Choquet geometric operator (SDHFCA). with Shapley Choquet integral-based Hamming distance
Wu, Chen e Xu <i>et al.</i> , (2017)	Sim. Definido a priori.	Sim, hesitant fuzzy linguistic weighted average (HFLWA) operator.

Fonte: Dados da pesquisa.

Quadro 11: Operadores de agregação para a representação *Interval-valued Hesitant fuzzy*.

Referências	Há ponderação de pesos? Se sim, quais são as técnicas ou métodos?	Há agregação de julgamentos? Se sim, quais são as técnicas ou métodos?
Gitinavard <i>et al.</i> (2016)	Sim, <i>maximizing deviation method</i>	IvHFG (<i>Interval-valued Hesitant Fuzzy Geometric</i>).
Chai e Ngai (2015)	Sim, IvHFA (<i>Interval-valued Hesitant Fuzzy Average</i>)	Sim, IvHFWA (<i>Interval-valued Hesitant Fuzzy Weighted Average</i>)

Continua na próxima página.

Continuação Quadro 11: Operadores de agregação para a representação *Interval-valued Hesitant fuzzy*.

Referências	Há ponderação de pesos? Se sim, quais são as técnicas ou métodos?	Há agregação de julgamentos? Se sim, quais são as técnicas ou métodos?
Gitinavard, Ghaderi, e Pishvaei, (2017)	Sim, interval-valued hesitant fuzzy weighted averaging (IvHFWA)	Sim, interval-valued hesitant fuzzy averaging (IvHFA)

Fonte: dados da pesquisa.

Como um dos objetivos do presente estudo é realizar comparações entre as técnicas estudadas, um operador de agregação em comum deve ser utilizado para não influenciar nos resultados. Sendo assim, os operadores IFWA, IvIFWA, HFWA e IvHFWA serão utilizados nesta pesquisa, pois todos são baseados em média ponderada, respeitando as operações equivalentes a cada técnica associada e considerando as opiniões de todos os tomadores de decisão envolvidos no processo.

3.6.1. Operador de agregação IFWA

O operador de agregação IFWA foi proposto inicialmente por Xu (2007) e vem sendo utilizado para a agregação das opiniões individuais dos tomadores de decisão (BORAN *et al.*, 2009; ALOINI *et al.*, 2014; ROUYENDEGH, 2014). Sendo $R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ uma matriz de tomada de decisão intuicionista com as avaliações de cada decisor k . $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_D\}$ é o peso relacionado a cada tomador de decisão e $\sum_{k=1}^D \lambda_k = 1, \lambda_k \in [0,1]$. Então, o operador IFWA é aplicado como apresentado a seguir (BORAN *et al.*, 2009):

$$r_{ij} = IFWA_{\lambda}(r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)}, \dots, r_{ij}^{(l)}) \quad (52)$$

$$= \lambda_1 r_{ij}^{(1)} \oplus \lambda_2 r_{ij}^{(2)} \oplus \lambda_3 r_{ij}^{(3)} \oplus \dots \oplus \lambda_l r_{ij}^{(l)} \quad (53)$$

$$= \left[1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (\nu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \right] \quad (54)$$

Onde, $r_{ij} = (\mu_{A_i}(x_j), \nu_{A_i}(x_j), \pi_{A_i}(x_j))$ para a alternativa $i=1, 2, \dots, m$ e critério $j=1, 2, \dots, n$. O mesmo procedimento pode ser utilizado para a ponderação dos critérios, substituindo o peso dos tomadores de decisão λ_k pelo peso dos critérios w_j .

3.6.2. Operador de agregação IvIFWA

Proposto inicialmente por Xu (2007 b), o operador de agregação *Interval-valued Intuitionistic fuzzy weighted average* segue a mesma lógica proposta no IFWA, com as adaptações necessárias para a aplicação da técnica. Suponhamos que $\tilde{\alpha}_j = (a_j, b_j][c_j, d_j]$ ($j = 1, 2, \dots, n$) seja uma coleção de números IvIF, então o operador pode ser definido a seguir (YUE; JIA, 2013):

$$IVIFWA_w(\tilde{\alpha}_1, \tilde{\alpha}_2, \dots, \tilde{\alpha}_n) = \sum_{j=1}^n w_j \tilde{\alpha}_j \quad (55)$$

$$= ([1 - \prod_{j=1}^n (1 - a_j)^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - b_j)^{w_j}], [\prod_{j=1}^n c_j^{w_j}, \prod_{j=1}^n d_j^{w_j}]) \quad (56)$$

Onde, n é a dimensão do operador de agregação e $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ é o vetor de pesos de $\tilde{\alpha}_j$, com $w_j \in [0,1]$, e $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

3.6.3. Operador de agregação HFWA

Alguns operadores de agregação foram definidos por Xia e Xu (2011), dentre eles o operador de média ponderada *Hesitant fuzzy*. Seja h_j ($j = 1, 2, \dots, n$) uma coleção de elementos Hesitant fuzzy, então o operador de agregação HFWA pode ser definido como (Xia e Xu, 2011; AI; YANG; ZHANG, 2014):

$$HFWA_\lambda(h_1, h_2, \dots, h_n) = \bigoplus_{j=1}^n (w_j h_j) \quad (57)$$

$$= \bigcup_{\gamma_1 \in h_1, \gamma_2 \in h_2, \dots, \gamma_n \in h_n} \{1 - \prod_{j=1}^n (1 - \gamma_j)^{w_j}\} \quad (58)$$

Onde $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ é o vetor de pesos para h_j ($j = 1, 2, \dots, n$), e $w_j > 0$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

3.6.4. Operador de agregação IvHFWA

Dentre os operadores estudados, a agregação que utiliza da média ponderada do *Interval-valued Hesitante fuzzy* é a mais recente disposta na literatura, podendo encontrar sua definição em Chai e Ngai (2015). Seja $\tilde{\alpha}_j = (j = 1, 2, \dots, n)$ uma coleção de elementos IvHF e $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ o vetor de pesos de $\tilde{\alpha}_j$ com $w_j \in [0,1]$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. Então, o IvHFWA é definido como:

$$IVHFWA_w(\tilde{\alpha}_1, \tilde{\alpha}_2, \dots, \tilde{\alpha}_n) = \bigoplus_{j=1}^n (w_j \tilde{\alpha}_j) \quad (59)$$

$$= \{[1 - \prod_{j=1}^n (1 - \tilde{r}_j^L)^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \tilde{r}_j^U)^{w_j}] | \tilde{r}_1 \in \tilde{\alpha}_1, \tilde{r}_2 \in \tilde{\alpha}_2, \dots, \tilde{r}_n \in \tilde{\alpha}_n\} \quad (60)$$

Em um caso particular, se $w = (1/n, 1/n, \dots, 1/n)^T$, então o operador IvHFWA pode ser simplificado para um operador IvHFA, que não considera ponderação de pesos.

4. APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS FUZZY PARA SELEÇÃO DE FORNECEDORES NA INDÚSTRIA TÊXTIL

O presente capítulo tem por objetivo explicitar a aplicação das técnicas estudadas neste trabalho, o que subsidiará o processo de comparação das mesmas. Sendo assim, a seção 4.1 busca propor um processo de decisão em grupo baseados em técnicas fuzzy e detalhando as fases deste processo. A seção 4.2 insere o contexto da indústria têxtil no Brasil, que servirá de base para a aplicação piloto. Finalmente, a seção 4.3 apresenta a indústria na qual a aplicação foi realizada, bem como os critérios levantados para a avaliação dos fornecedores e os dados coletados que serão utilizados nas abordagens previamente apresentadas na seção 3.

4.1. PROCESSO DE DECISÃO EM GRUPO BASEADO EM TÉCNICAS FUZZY

Para auxiliar a seleção dos fornecedores, um processo de decisão em grupo genérico é proposto como ilustrado na Figura 10. O processo é separado em quatro fases: definição das variáveis de entrada, julgamentos, agregação dos julgamentos e decisão, os quais serão detalhados a seguir.

Figura 10: Estrutura de tomada de decisão em grupo para seleção de fornecedores.

Fonte: Própria autoria.

Fase I: variáveis de entrada: A primeira fase consiste na definição das variáveis que serão utilizadas para a tomada de decisão. Desta forma, tomadores de decisão com experiências e conhecimentos diversificados e que estão diretamente ligados ao problema, devem ser selecionados para avaliar as alternativas disponíveis ou já pré-selecionadas. Os critérios mais relevantes ao problema e que impactam diretamente na estratégia competitiva da empresa devem ser selecionados para avaliação e ordenação das alternativas. Termos linguísticos adequados devem ser selecionados para possibilitar a avaliação pelos tomadores de decisão. A definição da representação fuzzy que será utilizada implica diretamente no formato de entrada das avaliações e na capacidade de expressar incertezas e subjetividade no julgamento dos decisores. Baseado nas variáveis de entrada selecionadas, técnicas *fuzzy GDM* adequadas devem ser selecionadas para englobar o problema abordado. Como já definido neste trabalho, as abordagens *Intuitionistic fuzzy*, *Hesitant fuzzy* e suas generalizações serão utilizadas para representar as opiniões dos tomadores de decisão. A avaliação será realizada no formato linguístico, sendo que seu universo de discurso será definido em conjunto com os especialistas da empresa na qual será realizada a aplicação do caso piloto.

Fase II: julgamentos: na segunda fase, temos os julgamentos individuais dos tomadores de decisão. Nesta etapa, são obtidas as matrizes de avaliação individual das alternativas em relação a cada critério. Da mesma forma, cada tomador de decisão deve avaliar a importância dos critérios previamente selecionados para o problema. Assim, cada critério terá um peso que influenciará na decisão final. A ponderação dos tomadores de decisão pode ser realizada para diferenciar a importância que cada decisor terá no problema analisado. Esta ponderação dependerá do problema abordado e da técnica *fuzzy GDM* selecionada, sendo que cada técnica estudada, possui métodos próprios de ponderação.

Fase III: agregação dos julgamentos: Após a obtenção das avaliações e ponderação dos critérios e tomadores de decisão, a terceira fase consiste em agregar todas estas informações e opiniões individuais, em uma matriz de tomada de decisão em grupo. Para isso, devem ser utilizados os operadores de agregação relacionados à representação de informação e a técnica *fuzzy* selecionada e que sejam adequados para associar a opinião coletiva sobre o problema.

Fase IV: decisão: na última etapa do processo de tomada de decisão, os índices de cada alternativa devem ser calculados utilizando a matriz de tomada de decisão em grupo. Os índices são calculados segundo as aplicações de cada técnica *fuzzy* estudada. Em algumas técnicas, tal como a que utiliza a representação *Hesitante Fuzzy*, o próprio

operador de agregação já pode retornar uma pontuação de avaliação final para cada alternativa. Em outras técnicas, é necessária a utilização de outras abordagens de ordenação, tal como TOPSIS e distância de conhecimento, para calcular as pontuações finais. Por fim, as alternativas são ordenadas em relação à preferência de alocação de pedidos. Desta forma, espera-se utilizar os fornecedores com melhores pontuações e que possam proporcionar melhor vantagem competitiva segundo os critérios analisados.

Na literatura é possível encontrar diversas propostas diferentes de aplicações de técnicas baseadas nas representações *fuzzy* abordadas neste trabalho. Sendo assim, os artigos listados a seguir, já bem difundidos na literatura, foram selecionados para subsidiar a aplicação das técnicas *fuzzy* de tomada de decisão em grupo para seleção de fornecedores. Além disso, esses estudos usam operadores baseados na média ponderada:

- *Intuitionistic Fuzzy*: “A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method” (BORAN *et al.*, 2009);
- *Interval-valued Intuitionistic Fuzzy*: “A new interval-valued knowledge measure for interval-valued intuitionistic fuzzy sets and application in decision making” (NGUYEN, 2016).
- *Hesitant Fuzzy*: “Hesitant fuzzy information aggregation in decision making” (XIA; XU, 2011).
- *Interval-valued Hesitant Fuzzy*: “Multi-perspective strategic supplier selection in uncertain environments” (CHAI; NGAI, 2015).

4.2. INDÚSTRIA TÊXTIL

A cadeia de suprimentos da indústria têxtil é composta por sete etapas fundamentais: agricultura; descaroçamento; fiação; tricotamento; tingimento; corte e costura; embalagem; e transporte. A partir da extração do algodão dos campos, a massa de algodão original descaroçado é embalada em fardos prensados. Fardos de algodão consistem nas matérias-primas para a fiação em que as fibras de algodão são processadas para produzir diversos tipos de fios. Indústrias de confecção de malhas trabalham os fios para produzir o tecido cru. Em seguida, o tecido é tingido e acabado. Finalmente, as indústrias de corte e costura produzem vestimentas e outros produtos têxteis. O transporte é presente e necessário em todas as etapas (NEVES; PINTO, 2012). A cadeia de abastecimento têxtil é muito importante para a economia local devido à geração de

empregos e contribuição com o desenvolvimento regional (CAMARGO, 2012; SOUZA *et al.*, 2004).

Os critérios de decisão para seleção de fornecedores de uma indústria têxtil, utilizados na avaliação das diferentes possibilidades de fornecedores podem ser atributos qualitativos e quantitativos. A principal matéria prima, o algodão cru, apresenta diferentes comprimentos dos fios de algodão, sendo um atributo aleatório, próprio da natureza e de difícil controle. Deste modo, a qualidade da matéria-prima fornecida pode variar devido às características inerentes à matéria prima, podendo não atender as exigências especificadas pela organização em suas ordens de compras (ASSAD *et al.* 2010; NEVES; PINTO, 2012).

As dificuldades para controlar os fluxos de abastecimento de matérias-primas provocam uma alta variação do estoque do material a ser processado. Variações na qualidade da matéria-prima em estoque podem influenciar de modo significativo o processo produtivo. Na indústria de fiação, as variações na cor e características dos fardos de algodão em estoque, podem causar variações nas proporções de mistura para atingir as especificações de qualidade exigida pela cadeia. Portanto, a gestão de compras/fornecimento possui grande importância dentro da indústria de processo (SOUZA *et al.*, 2004; ASSAD *et al.* 2010).

A cadeia têxtil costuma seguir uma estratégia híbrida de produção, com programação de produção puxada e empurrada. Como fardos de algodão têm variabilidade de qualidade devida a sua natureza, indústrias de descaroçamento geralmente não conseguem alcançar a qualidade exigida das ordens. O preço do fardo de algodão é regulado pela oferta, demanda e classificação de qualidade, especialmente relacionado às características da fibra, como, por exemplo, o índice de uniformidade e o teor de impurezas presentes na matéria prima. Para a produção dos fios de algodão, é necessário misturar diferentes tipos de fardos para se alcançar as especificações desejadas. Se o tomador de decisão conhece os atributos necessários para a produção de fios, (do processo de fabricação e suas tolerâncias), e tem à sua disposição fardos de algodão com diferentes atributos, é possível selecionar a melhor combinação de fardos de baixo custo. No caso destas informações não estarem disponíveis, o tomador de decisão é induzido a comprar fardos de algodão de alta qualidade a um custo elevado para garantir que os requisitos de produção sejam cumpridos (CAMARGO, 2012). Assim, devido à complexidade existente entre a qualidade das matérias-primas e os produtos finais, o planejamento da produção de

fiação deve levar em conta as características da matéria-prima utilizada para atender as qualidades de fio (CAMARGO *et al.*, 2014a; CAMARGO *et al.*, 2014b)

Desta forma, é necessário haver um método de controle de compras e análise dos fornecedores para se alcançar a satisfação dos requisitos de qualidade dos fios de algodão (ASSAD *et al.*, 2010). Fica evidenciado a importância da seleção e avaliação dos fornecedores na indústria têxtil para garantir a qualidade da matéria-prima e evitar um aumento desnecessário nos custos. No presente trabalho, uma empresa de fiação é utilizada para aplicação das técnicas estudadas, na qual, será realizada uma comparação entre as representações *fuzzy* apresentadas nesta pesquisa.

4.3. CASO DE APLICAÇÃO PILOTO

A empresa selecionada para aplicação piloto atua há mais de 25 anos no mercado têxtil nacional, com foco na produção de fios para malharia e tecelagem. Segundo o SEBRAE, a empresa analisada pode ser considerada uma indústria de médio porte devido ao seu quadro de funcionários, atualmente em torno de 150 pessoas. Destaca-se que o processo de fiação tem caráter contínuo, não sendo necessária uma intervenção acentuada dos funcionários no processo de produção. O *mix* de produtos oferecidos pela empresa de fiação contempla: fios 100% algodão com foco no alto desempenho das malharias; *open-end*; fios especiais com *flame* e *multicount* e; fios de 5.5/1 Ne à 30/1 Ne. A capacidade produtiva de fios de algodão é 3.200.000 kg/mês. Como forma de ilustração da capacidade de produção, a transformação dos fios em tecido de 400 gramas o metro quadrado renderia 8 milhões de metros quadrados de tecido ou 6 milhões de calças por mês.

Foram realizadas visitas e entrevistas com os diretores e gerente de produção, que são responsáveis pela gestão da qualidade e gestão de compras. Segundo observado e relatado, a empresa possui rigorosos processos de controle de qualidade e processos de análises bem delineados. Nos laboratórios da empresa são realizados testes de acompanhamento da produção, visando garantir a qualidade da gama de produtos comercializados.

O desempenho da empresa está diretamente relacionado com a capacidade de fornecimento adequado dos fornecedores. Existem três classes de fornecedores distintos que a empresa pode usar, sendo estes os produtores de algodão, os comerciantes de algodão

e os *trades* (assessores de compra e vendas, voltados para o mercado agroindustrial). Entretanto, atualmente a empresa negocia apenas com *trades* e comerciantes, pois os *trades* são os maiores detentores de matéria prima disponível e oferecem oportunidades de compra futura. Já os comerciantes, apresentam oportunidades de negociação com boa relação de custo/benefício. Os produtores não são utilizados devido ao histórico de quebras de contrato e entregas inadequadas (tipo de algodão fora da especificação ou atrasos que podem comprometer a produção). Atualmente são utilizados basicamente 3 *trades* e 4 comerciantes distintos como fornecedores.

O processo de seleção dos fornecedores é baseado na necessidade do cliente e disponibilidade do algodão. Em seguida é realizado levantamento dos preços, solicitação de amostras para realização de testes de HVI (*High Volume Instrument*, utilizado para medir a cor do algodão, seu grau de refletância, amarelamento, resistência e impurezas); o processo é finalizado com o fechamento de compra, especificando qualidade, volume, preço e agendamento da entrega. Após o fechamento de compra, toda mercadoria que chega à empresa passa por avaliação de qualidade e fiscal. A avaliação é realizada inicialmente de forma visual e posteriormente aplicam-se testes laboratoriais. Frequentemente os lotes são classificados como não conformes, o que implica na devolução da matéria prima. Devido a essas eventualidades, um estoque de antecipação é utilizado para garantir a variedade dos tipos de algodão que serão utilizados na mistura para produção dos fios, garantindo a qualidade adequada e um custo competitivo no mercado.

Em resumo, é evidente que a produção da empresa é altamente relacionada à capacidade de seus fornecedores em cumprir com os requisitos pré-definidos nos contratos, o que permitirá à fiação atender os critérios exigidos diretamente pelos clientes e por toda a cadeia produtiva.

4.3.1. Critérios para avaliação dos fornecedores de algodão

Por meio de entrevistas realizadas na empresa, foi possível realizar o levantamento de nove subcritérios que são utilizados para avaliação e seleção dos fornecedores. Com base na revisão da literatura e entrevistas realizadas na empresa, foi possível agrupar os subcritérios em quatro critérios de tomada de decisão que irão influenciar diretamente na

seleção de um fornecedor em detrimento de outro na indústria de fiação. O Quadro 12 apresenta os critérios, os subcritérios e suas respectivas descrições.

Quadro 12: Critérios utilizados para avaliação de fornecedores de algodão.

Critérios	Subcritérios	Descrição
Qualidade da matéria prima	Característica do algodão	Devem ser levadas em consideração características como quantidade de <i>Neps</i> , coloração, percentual de sujeira, comprimento da fibra, uniformidade e tenacidade.
	Qualidade das amostras	Mediante análises amostrais são medidos os <i>Neps</i> e HVI que determinam as características do algodão.
	Confiabilidade do algodão	Busca avaliar se o algodão vendido corresponde às características prometidas em contrato.
Custo/Preço	Preço regular praticado	Normalmente preços tabelados são aplicados para cada tipo de algodão em todos os fornecedores.
	Oportunidades de preços	Regularmente, preços oportunos aparecem devido ao estoque elevado nos fornecedores.
Capacidade de atendimento	Volume de algodão disponível	Capacidade do fornecedor em atender a demanda necessária para produção.
	Variedades de algodão disponível	Quais são os tipos de algodão disponíveis para realizar o <i>blend</i> (mistura de diferentes qualidades de algodão) de produção e atingir as especificações desejadas do cliente.
Capacidade de entrega	Prazo estimado de entrega	Prazo prometido para a entrega da matéria prima.
	Confiabilidade de entrega	Pontualidade de entrega conforme prazo estimado.

Fonte: Própria autoria.

4.3.2. Procedimento de coleta de dados para aplicação das técnicas

Foram realizadas visitas in loco da indústria estudada para a coleta de dados. As opiniões dos especialistas envolvidos diretamente com a seleção de fornecedores e aquisição da matéria prima foram coletadas segundo as necessidades de cada técnica estudada e implementada. Sete fornecedores potenciais foram avaliados (F1, F2, F3, F4, F5, F6 e F7) e o seguinte procedimento de coleta de dados foi realizado:

Determinação da importância dos decisores: o principal foco desta pesquisa é a realização da comparação entre as técnicas de tomada de decisão em grupo. Desta forma, o peso de cada tomador de decisão será o mesmo para todas as técnicas aplicadas no caso piloto. Quatro decisores participaram do processo de seleção, sendo estes o diretor geral

(DM1), o gerente de produção (DM2) e dois gerentes da qualidade (DM3 e DM4). A partir de um consenso entre os decisores, a Tabela 1 apresenta os pesos definidos para cada tomador de decisão. Os gerentes da qualidade avaliaram apenas o critério Qualidade por não estarem envolvidos e portanto não terem condições de julgar os demais critérios. Ressalta-se que a soma dos pesos dos decisores em cada critério deve ser igual a 1.

Tabela 1: pesos dos tomadores de decisão na aplicação piloto.

Decisores	Peso dos decisores em cada critério			
	Qualidade	Custo	Capacidade	Entrega
Diretor Geral	0,2	0,6	0,6	0,6
Gerente de Produção	0,2	0,4	0,4	0,4
Gerente da Qualidade 1	0,3	-	-	-
Gerente da Qualidade 2	0,3	-	-	-

Fonte: Própria autoria.

Avaliação da importância dos critérios: a avaliação dos pesos de cada critério no processo de tomada de decisão foi realizada por cada decisor segundo dois procedimentos:

- Avaliação pontual: cada decisor avaliou a importância dos critérios utilizando um termo linguístico da do Quadro 13. Exemplo: muito importante.
- Avaliação hesitante: cada decisor avaliou a importância dos critérios utilizando um ou mais termos linguísticos do Quadro 13. Exemplo: no mínimo importante, entre médio e importante.

Quadro 13: termos linguísticos utilizados para avaliação da importância dos critérios

Termos Linguísticos	Abreviação Utilizada
Muito Importante	(MI)
Importante	(I)
Médio	(M)
Pouco Importante	(PI)
Sem importância	(SI)

Fonte: Própria autoria.

Avaliação do desempenho dos fornecedores: cada decisor avaliará o desempenho dos fornecedores segundo dois procedimentos:

- Avaliação pontual: cada decisor avaliou o desempenho de cada fornecedor em cada critério utilizando um termo linguístico do Quadro 14. Exemplo: alto.
- Avaliação hesitante: cada decisor avaliou o desempenho de cada fornecedor em cada critério utilizando um ou mais termos linguísticos do Quadro 14. Exemplo: no mínimo alto. Ou entre intermediário e muito alto. Ou no máximo intermediário.

Quadro 14: termos linguísticos utilizados para avaliação do desempenho das alternativas.

Termos Linguísticos	Abreviação Utilizada
Extremamente Alto	(EA)
Muito Alto	(MA)
Alto	(A)
Intermediário	(IT)
Baixo	(B)
Muito Baixo	(MB)
Extremamente Baixo	(EB)

Fonte: Própria autoria.

As avaliações coletadas foram utilizadas como dados de entrada para a aplicação de cada técnica estudada e implementada, conforme apresentado pelo capítulo seguinte.

5. RESULTADO DAS APLICAÇÕES DAS TÉCNICAS FUZZY GDM

Este capítulo busca apresentar os resultados das aplicações das técnicas com as diferentes representações previamente apresentadas no capítulo 3. As técnicas com representações intuicionistas foram implementadas utilizando os softwares *EXCEL*®, enquanto as abordagens Hesitantes foram implementadas utilizando o *MATLAB*®. O capítulo segue estruturado da seguinte forma: seções 5.1 e 5.2 retratam as aplicações e os resultados do *Intuitionistic fuzzy* e do *Interval-valued intuitionistic fuzzy* respectivamente. A seção 5.3 demonstra a aplicação e os resultados do *Hesitant fuzzy*, enquanto a seção 5.4 exibe o desenvolvimento e resultado da aplicação do *Interval-valued Hesitant fuzzy*.

5.1. APLICAÇÃO DO INTUITIONISTIC FUZZY

Inicialmente os termos linguísticos utilizados pelos tomadores de decisão foram convertidos em números *fuzzy* intuicionistas. As tabelas 2 e 3 exibem respectivamente os valores de pertencimento (μ_α) e não pertencimento (ν_α) para as avaliações dos critérios e alternativas. As parametrizações foram baseadas em aplicações semelhantes encontradas na literatura (BORAN *et al.*, 2009; ZHANG; LIU, 2011).

Tabela 2: números *fuzzy* intuicionistas para avaliação dos critérios.

Termos Linguísticos	Números <i>fuzzy</i> intuicionistas	
	μ_α	ν_α
Muito Importante (MI)	0,90	0,10
Importante (I)	0,75	0,20
Médio (M)	0,50	0,45
Pouco Importante (PI)	0,35	0,60
Sem importância (SI)	0,10	0,90

Fonte: Própria autoria.

Para a determinação dos pesos dos critérios, os decisores avaliaram a importância de cada critério. A Tabela 4 apresentam as abreviações das avaliações (Av.) e os valores correspondentes dos números *fuzzy* intuicionistas com os respectivos graus de pertencimento e não pertencimento para avaliação da importância dos critérios. Da mesma

forma, a Tabela 5 apresenta os julgamentos dos decisores em relação ao desempenho de cada fornecedor (F) em relação aos critérios analisados.

Tabela 3: números *fuzzy* intuicionistas para avaliação do desempenho das alternativas.

Termos Linguísticos	Números <i>fuzzy</i> intuicionistas	
	μ_{α}	ν_{α}
Extremamente Alto (EA)	0,95	0,05
Muito Alto (MA)	0,85	0,10
Alto (A)	0,70	0,20
Intermediário (IT)	0,50	0,45
Baixo (B)	0,40	0,50
Muito Baixo (MB)	0,25	0,70
Extremamente Baixo (EB)	0,10	0,90

Fonte: Própria autoria.

Em seguida o operador de agregação *IFWA* é aplicado segundo as equações (52) a (54) para agregar os julgamentos em relação a importância dos critérios e para agregar as avaliações dos desempenhos das alternativas em relação a cada critério. O resultado do processo de agregação é exibido a seguir, sendo que a Tabela 6 apresenta a importância calculada dos critérios e que compõe o vetor de pesos W , enquanto a Tabela 7 apresenta os resultados para as alternativas. A matriz agregada e ponderada pelo vetor de pesos W é calculada segundo as equações (17) e (18). A Tabela 8 expõem os valores encontrados relacionando os fornecedores em cada linha com os critérios analisados em cada coluna.

Para possibilitar a ordenação das alternativas, aplicam-se as equações (19) a (27) com o objetivo de se obter a solução *fuzzy* intuicionista ideal positiva (A^+) e a solução *fuzzy* intuicionista ideal negativa (A^-). A Tabela 9 representa os resultados destes vetores. O próximo passo é o cálculo das distancias entre as avaliações agregadas e ponderadas em relação as soluções ideais encontradas. Desta forma, a distância Euclidiana normalizada é utilizada segundo as equações (28) e (29). A Tabela 10 exhibe os resultados dos cálculos da distância entre os resultados dos valores agregados e ponderados da Tabela 10 em relação ao vetor A^+ . O mesmo procedimento é realizado em relação ao vetor A^- e os resultados são exibidos na Tabela 11.

Tabela 4: Avaliações dos pesos dos critérios segundo os decisores.

Critérios	DM1			DM2			DM3			DM4		
	Av.	μ_α	ν_α	Av.	μ_α	ν_α	Av.	μ_α	ν_α	Av.	μ_α	ν_α
Qualidade	I	0,75	0,20	MI	0,90	0,10	MI	0,90	0,10	MI	0,90	0,10
Custo	MI	0,90	0,10	MI	0,90	0,10	-	-	-	-	-	-
Capacidade	I	0,75	0,20	I	0,75	0,20	-	-	-	-	-	-
Entrega	MI	0,90	0,10	I	0,75	0,20	-	-	-	-	-	-

Fonte: Própria autoria.

Tabela 5: Avaliações do desempenho dos fornecedores em cada critério.

Critérios	F.	DM1			DM2			DM3			DM4		
		Av.	μ_α	ν_α	Av.	μ_α	ν_α	Av.	μ_α	ν_α	Av.	μ_α	ν_α
Qualidade	F1	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20	IT	0,50	0,45	MB	0,25	0,70
	F2	MA	0,85	0,10	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20
	F3	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20	IT	0,50	0,45	IT	0,50	0,45
	F4	IT	0,50	0,45	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20	MA	0,85	0,10
	F5	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20	IT	0,50	0,45
	F6	IT	0,50	0,45	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20
	F7	EA	0,95	0,05	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20	MB	0,25	0,70
Custo	F1	IT	0,50	0,45	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F2	IT	0,50	0,45	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F3	MA	0,85	0,10	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F4	MA	0,85	0,10	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F5	A	0,70	0,20	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F6	A	0,70	0,20	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F7	A	0,70	0,20	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
Capacidade	F1	EA	0,95	0,05	A	0,70	0,20	-	-	-	-	-	-
	F2	EA	0,95	0,05	A	0,70	0,20	-	-	-	-	-	-
	F3	EA	0,95	0,05	A	0,70	0,20	-	-	-	-	-	-
	F4	A	0,70	0,20	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F5	IT	0,50	0,45	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F6	IT	0,50	0,45	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F7	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20	-	-	-	-	-	-
Entrega	F1	EA	0,95	0,05	A	0,70	0,20	-	-	-	-	-	-
	F2	EA	0,95	0,05	A	0,70	0,20	-	-	-	-	-	-
	F3	EA	0,95	0,05	A	0,70	0,20	-	-	-	-	-	-
	F4	IT	0,50	0,45	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F5	A	0,70	0,20	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F6	IT	0,50	0,45	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F7	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20	-	-	-	-	-	-

Fonte: Própria autoria.

Tabela 6: resultado agregado dos pesos dos critérios.

Critérios	Julgamentos agregados		
	μ_α	ν_α	π
Qualidade	0,8799	0,1149	0,0052
Custo	0,9000	0,1000	0,0000
Capacidade	0,7500	0,2000	0,0500
Entrega	0,8557	0,1320	0,0123

Fonte: Própria autoria.

A obtenção da ordenação das alternativas foi realizada segundo o coeficiente de proximidade relativa entre as alternativas e as soluções ideais intuicionistas positiva e negativa. O cálculo foi realizado segundo a Equação (30) e os resultados são apresentados na Tabela 12 com a ordenação sendo $F3 > F2 > F7 > F1 > F4 > F5 > F6$.

Tabela 7: resultado agregado do desempenho das alternativas.

Fornecedores.	Critérios											
	Qualidade			Custo			Capacidade			Entrega		
	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π
F1	0,5397	0,3715	0,0889	0,5000	0,4500	0,0500	0,8976	0,0871	0,0153	0,8976	0,0871	0,0153
F2	0,7388	0,1741	0,0871	0,5000	0,4500	0,0500	0,8976	0,0871	0,0153	0,8976	0,0871	0,0153
F3	0,5924	0,3253	0,0823	0,7572	0,1825	0,0603	0,8976	0,0871	0,0153	0,8976	0,0871	0,0153
F4	0,7301	0,1911	0,0788	0,7572	0,1825	0,0603	0,6320	0,2766	0,0914	0,5000	0,4500	0,0500
F5	0,6503	0,2551	0,0946	0,6320	0,2766	0,0914	0,5000	0,4500	0,0500	0,6320	0,2766	0,0914
F6	0,6677	0,2352	0,0971	0,6320	0,2766	0,0914	0,5000	0,4500	0,0500	0,5000	0,4500	0,0500
F7	0,7240	0,2207	0,0553	0,6320	0,2766	0,0914	0,7000	0,2000	0,1000	0,7000	0,2000	0,1000

Fonte: Própria autoria.

Tabela 8: resultado agregado e ponderados do desempenho das alternativas.

Fornecedores	Critérios											
	Qualidade			Custo			Capacidade			Entrega		
	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π
F1	0,4749	0,4437	0,0815	0,4500	0,5050	0,0450	0,6732	0,2696	0,0571	0,7681	0,2075	0,0244
F2	0,6501	0,2690	0,0809	0,4500	0,5050	0,0450	0,6732	0,2696	0,0571	0,7681	0,2075	0,0244
F3	0,5212	0,4028	0,0759	0,6815	0,2643	0,0543	0,6732	0,2696	0,0571	0,7681	0,2075	0,0244
F4	0,6424	0,2840	0,0736	0,6815	0,2643	0,0543	0,4740	0,4213	0,1047	0,4279	0,5226	0,0496
F5	0,5722	0,3407	0,0871	0,5688	0,3490	0,0822	0,3750	0,5600	0,0650	0,5408	0,3721	0,0871
F6	0,5875	0,3231	0,0894	0,5688	0,3490	0,0822	0,3750	0,5600	0,0650	0,4279	0,5226	0,0496
F7	0,6371	0,3102	0,0527	0,5688	0,3490	0,0822	0,5250	0,3600	0,1150	0,5990	0,3056	0,0954

Fonte: Própria autoria.

Tabela 9: vetores de solução *fuzzy* intuicionista ideal positiva e negativa.

Solução <i>fuzzy</i> intuicionista ideal	Critérios											
	Qualidade			Custo			Capacidade			Entrega		
	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π
A^+	0,650	0,269	0,081	0,681	0,264	0,054	0,673	0,270	0,057	0,768	0,208	0,024
A^-	0,475	0,444	0,081	0,450	0,505	0,045	0,375	0,560	0,065	0,428	0,523	0,050

Fonte: Própria autoria.

Tabela 10: distâncias entre os resultados dos valores agregados e ponderados e os vetor de solução *fuzzy* ideal positiva.

Fornecedores	Critérios											
	Qualidade			Custo			Capacidade			Entrega		
	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π
F1	0,0307	0,0305	0,0000	0,0536	0,0580	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
F2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0536	0,0580	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
F3	0,0166	0,0179	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
F4	0,0001	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0397	0,0230	0,0023	0,1158	0,0993	0,0006
F5	0,0061	0,0051	0,0000	0,0127	0,0072	0,0008	0,0889	0,0843	0,0001	0,0517	0,0271	0,0039
F6	0,0039	0,0029	0,0001	0,0127	0,0072	0,0008	0,0889	0,0843	0,0001	0,1158	0,0993	0,0006
F7	0,0002	0,0017	0,0008	0,0127	0,0072	0,0008	0,0220	0,0082	0,0033	0,0286	0,0096	0,0051

Fonte: Própria autoria.

Tabela 11: distâncias entre os resultados dos valores agregados e ponderados e o vetor de solução *fuzzy* ideal negativa.

Fornecedores	Critérios											
	Qualidade			Custo			Capacidade			Entrega		
	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π	μ_α	ν_α	π
F1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0889	0,0843	0,0001	0,1158	0,0993	0,0006
F2	0,0307	0,0305	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0889	0,0843	0,0001	0,1158	0,0993	0,0006
F3	0,0022	0,0017	0,0000	0,0536	0,0580	0,0001	0,0889	0,0843	0,0001	0,1158	0,0993	0,0006
F4	0,0281	0,0255	0,0001	0,0536	0,0580	0,0001	0,0098	0,0192	0,0016	0,0000	0,0000	0,0000
F5	0,0095	0,0106	0,0000	0,0141	0,0243	0,0014	0,0000	0,0000	0,0000	0,0128	0,0226	0,0014
F6	0,0127	0,0145	0,0001	0,0141	0,0243	0,0014	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
F7	0,0263	0,0178	0,0008	0,0141	0,0243	0,0014	0,0225	0,0400	0,0025	0,0293	0,0471	0,0021

Fonte: Própria autoria.

Tabela 12: cálculo do coeficiente de proximidade e ordenação das alternativas.

Fornecedores	S+	S-	Ci	Ordenação
F1	0,1111	0,1667	0,6000	4
F2	0,0893	0,1793	0,6676	2
F3	0,0497	0,1898	0,7926	1
F4	0,1417	0,1183	0,4550	5
F5	0,1434	0,0831	0,3670	6
F6	0,1725	0,0693	0,2865	7
F7	0,0845	0,1277	0,6017	3

Fonte: Própria autoria.

5.2. APLICAÇÃO DO INTERVAL-VALUED INTUITIONISTIC FUZZY

Seguindo o procedimento adotado no *intuitionistic fuzzy*, inicialmente os números intucionistas com intervalos são definidos segundo a Tabela 13 para serem utilizados no processo de avaliação. A parametrização dos números intuicionistas seguiu as propostas encontradas na literatura (XUE *et al.*, 2016; EBRAHIMNEJAD *et al.*, 2015). A abordagem estudada e apresentada na seção 3.3, busca realizar a ordenação dos fornecedores candidatos com os pesos dos critérios previamente definidos. Sendo assim, os pesos dos critérios foram estabelecidos a priori pelo Diretor (DM1) sendo estes: [0,3; 0,3; 0,2; 0,2] para os critérios de Qualidade, Custo, Capacidade e Entrega respectivamente.

Tabela 13: números IvIF e os termos linguísticos associados.

Termos Linguísticos	Números IvIF			
	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+
Extremamente Alto (EA)	0,90	1,00	0,00	0,05
Muito Alto (MA)	0,80	0,90	0,10	0,15
Alto (A)	0,60	0,75	0,20	0,3
Intermediário (IT)	0,45	0,55	0,40	0,5
Baixo (B)	0,30	0,40	0,50	0,6
Muito Baixo (MB)	0,15	0,25	0,60	0,7
Extremamente Baixo (EB)	0,05	0,10	0,80	0,95

Fonte: Própria autoria.

A Tabela 14 a seguir apresenta os julgamentos dos decisores em relação ao desempenho dos fornecedores candidatos em cada critério avaliado. Ressalta-se os julgamentos foram realizados de forma normalizada, não sendo necessário segregar os critérios de benefício dos critérios de custo.

Em seguida, as avaliações foram agregadas segundo o operador de agregação IvIFWA e mediante a aplicação das equações (55) e (56) apresentadas na seção 3.6.2. A matriz resultante de avaliações globais agregadas é exibida pela Tabela 15. Em seguida, o mesmo operador de agregação é utilizado novamente para ponderar as avaliações globais segundo os pesos dos critérios, resultando a matriz apresentada na Tabela 16. Finalmente, a ordenação é obtida pelo cálculo do índice de conhecimento utilizando as equações (35) à

(37), com o objetivo de selecionar o fornecedor com o maior valor positivo de grau de pertencimento, conforme exibido pela Tabela 17.

O resultado apresentado nesta aplicação ($F7 > F1 > F2 > F3 > F4 > F5 > F6$) difere do resultado obtido com a representação *Intuitionistic Fuzzy* ($F3 > F2 > F7 > F1 > F4 > F5 > F6$), principalmente no que se refere aos fornecedores melhor classificados. Algumas suposições podem ser levantadas em relação à diferença dos resultados, entre elas: a complexidade adicional oferecida pelos valores intervalados influencia diretamente nos resultados; as parametrizações das variáveis linguísticas interferem nos resultados finais e; o processo de cálculo da pontuação dos fornecedores no IvIF considerou somente o grau de pertencimento, ao contrário da aplicação apresentada no IF.

Tabela 14: avaliação do desempenho dos fornecedores em cada critério e os números IvIF equivalentes.

Critérios	Fornecedores	DM1					DM2					DM3					DM4				
		Av.	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+	Av.	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+	Av.	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+	Av.	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+
Qualidade	F1	A	0,60	0,75	0,20	0,30	A	0,60	0,75	0,20	0,30	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	MB	0,15	0,25	0,60	0,70
	F2	MA	0,80	0,90	0,10	0,15	A	0,60	0,75	0,20	0,30	A	0,60	0,75	0,20	0,30	A	0,60	0,75	0,20	0,30
	F3	A	0,60	0,75	0,20	0,30	A	0,60	0,75	0,20	0,30	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	IT	0,45	0,55	0,40	0,50
	F4	I	0,45	0,55	0,40	0,50	A	0,60	0,75	0,20	0,30	A	0,60	0,75	0,20	0,30	MA	0,80	0,90	0,10	0,15
	F5	A	0,60	0,75	0,20	0,30	A	0,60	0,75	0,20	0,30	A	0,60	0,75	0,20	0,30	IT	0,45	0,55	0,40	0,50
	F6	I	0,45	0,55	0,40	0,50	A	0,60	0,75	0,20	0,30	A	0,60	0,75	0,20	0,30	A	0,60	0,75	0,20	0,30
	F7	EA	0,90	1,00	0,00	0,05	A	0,60	0,75	0,20	0,30	A	0,60	0,75	0,20	0,30	MB	0,15	0,25	0,60	0,70
Custo	F1	I	0,45	0,55	0,40	0,50	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F2	I	0,45	0,55	0,40	0,50	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F3	MA	0,80	0,90	0,10	0,15	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F4	MA	0,80	0,90	0,10	0,15	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F5	A	0,60	0,75	0,20	0,30	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F6	A	0,60	0,75	0,20	0,30	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F7	A	0,60	0,75	0,20	0,30	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Capacidade	F1	EA	0,90	1,00	0,00	0,05	A	0,60	0,75	0,20	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F2	EA	0,90	1,00	0,00	0,05	A	0,60	0,75	0,20	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F3	EA	0,90	1,00	0,00	0,05	A	0,60	0,75	0,20	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F4	A	0,60	0,75	0,20	0,30	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F5	I	0,45	0,55	0,40	0,50	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F6	I	0,45	0,55	0,40	0,50	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F7	A	0,60	0,75	0,20	0,30	A	0,60	0,75	0,20	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Entrega	F1	EA	0,90	1,00	0,00	0,05	A	0,60	0,75	0,20	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F2	EA	0,90	1,00	0,00	0,05	A	0,80	0,90	0,10	0,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F3	EA	0,90	1,00	0,00	0,05	A	0,60	0,75	0,20	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F4	I	0,45	0,55	0,40	0,50	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F5	A	0,60	0,75	0,20	0,30	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F6	I	0,45	0,55	0,40	0,50	IT	0,45	0,55	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	F7	A	0,60	0,75	0,20	0,30	A	0,60	0,75	0,20	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Própria autoria.

Tabela 15: resultado agregado do desempenho das alternativas nos critérios e os números IvIF equivalentes.

Fornecedores	Critérios															
	Qualidade				Custo				Capacidade				Entrega			
	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+
F1	0,448	0,585	0,342	0,451	0,450	0,550	0,400	0,500	0,826	1,000	0,085	0,159	0,826	1,000	0,085	0,159
F2	0,652	0,792	0,174	0,261	0,450	0,550	0,400	0,500	0,826	1,000	0,085	0,159	0,868	1,000	0,041	0,091
F3	0,516	0,644	0,303	0,408	0,700	0,817	0,235	0,313	0,826	1,000	0,085	0,159	0,826	1,000	0,085	0,159
F4	0,654	0,786	0,187	0,270	0,700	0,817	0,235	0,313	0,546	0,684	0,287	0,388	0,450	0,550	0,400	0,500
F5	0,560	0,702	0,246	0,350	0,546	0,684	0,287	0,388	0,450	0,550	0,400	0,500	0,546	0,684	0,287	0,388
F6	0,574	0,719	0,230	0,332	0,546	0,684	0,287	0,388	0,450	0,550	0,400	0,500	0,450	0,550	0,400	0,500
F7	0,620	1,000	0,000	0,270	0,546	0,684	0,287	0,388	0,600	0,750	0,200	0,300	0,600	0,750	0,200	0,300

Fonte: Própria autoria.

Tabela 16: resultado agregado e ponderado do desempenho das alternativas e os números IvIF equivalentes.

Fornecedores	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+
F1	0,6525	1,0000	0,2700	0,3669
F2	0,7136	1,0000	0,2109	0,2971
F3	0,7215	1,0000	0,2009	0,2874
F4	0,6159	0,7442	0,2680	0,3583
F5	0,5324	0,6666	0,2996	0,4015
F6	0,5189	0,6484	0,3189	0,4206
F7	0,5907	1,0000	0,1736	0,3193

Fonte: Própria autoria.

Tabela 17: resultado do cálculo do índice de conhecimento e ordenação das alternativas.

Fornecedores	k-	K+	Ordenação
F1	0,573	1,181	2
F2	0,624	1,154	3
F3	0,637	1,145	4
F4	0,707	0,932	5
F5	0,723	0,922	6
F6	0,717	0,919	7
F7	0,567	1,194	1

Fonte: Própria autoria.

5.3. APLICAÇÃO DO *HESITANT FUZZY*

A princípio, para a aplicação da abordagem *Hesitante Fuzzy*, um modelo *fuzzy* de representação da informação foi proposto. A Figura 11 representa os termos linguísticos *fuzzy* utilizados para avaliação da importância dos critérios, enquanto a Figura 12 busca transpassar os números *fuzzy* utilizados na avaliação do desempenho dos fornecedores em cada critério analisado.

Figura 11- Modelo *fuzzy* para avaliação dos critérios.

Fonte: Própria autoria.

Figura 12 - Modelo *fuzzy* para avaliação dos do desempenho das alternativas.

Fonte: Própria autoria.

Seguindo a proposta apresentada na seção 3.4.2, os tomadores de decisão avaliaram os critérios e o desempenho das alternativas de forma hesitante, na qual um ou mais termos linguísticos poderiam ser ativados pela expressão linguística utilizada. Os Quadros 15 e 16

a seguir exibem os resultados dos julgamentos para avaliação do peso dos critérios e desempenho dos fornecedores respectivamente.

Quadro 15: avaliação da importância dos critérios utilizando avaliação hesitante.

Crítérios	DM1	DM2	DM3	DM4
Qualidade	I; MI	MI	I; MI	MI
Custo	MI	MI		
Capacidade	M; I; MI	I		
Entrega	I; MI	I		

Fonte: Própria autoria.

Quadro 16: avaliação do desempenho das alternativas utilizando avaliação hesitante.

Crítérios	Fornecedores	DM1	DM2	DM3	DM4
Qualidade	F1	B; IT; A	A	IT; A	EB; MB; B
	F2	B; IT; A	A	A; MA	B; IT; A; MA
	F3	B; IT; A	A	IT	B; IT; A; MA
	F4	B; IT; A	A	A; MA	B; IT; A
	F5	B; IT; A	A	IT; A	MB; B; IT; A
	F6	B; IT; A	A	A	B; IT; A; MA
	F7	B; IT; A	A	A; MA	EB; MB; B
Custo	F1	IT	IT	-	-
	F2	IT; A	IT	-	-
	F3	MA	IT	-	-
	F4	MA	IT	-	-
	F5	EA	IT	-	-
	F6	EA	IT	-	-
	F7	MA	IT	-	-
Capacidade	F1	EA	A	-	-
	F2	EA	A	-	-
	F3	A	A	-	-
	F4	IT	IT	-	-
	F5	IT	IT	-	-
	F6	IT; A	IT	-	-
	F7	B; IT; A	A	-	-
Entrega	F1	EA	A	-	-
	F2	EA	A	-	-
	F3	A	A	-	-
	F4	IT	IT	-	-
	F5	A	IT	-	-
	F6	A	IT	-	-
	F7	A	A	-	-

Fonte: Própria autoria.

Por meio da aplicação do operador de agregação HFWA segundo as equações (57) e (58), o peso dos critérios avaliados por cada decisor foi calculado e unificado em um vetor de pesos apresentados pela Tabela 18 a seguir.

Tabela 18: peso calculado para os critérios.

Critérios	Peso calculado
Qualidade	0,271
Custo	0,271
Capacidade	0,214
Entrega	0,244

Fonte: Própria autoria.

Com os pesos dos critérios definidos, é possível então calcular o desempenho dos fornecedores em relação aos critérios avaliados. As avaliações apresentadas pelo Quadro 16 são agrupadas para representar a avaliação do grupo. A Tabela 19 apresenta todos os termos ativados pela avaliação dos decisores em cada alternativa em relação a cada critério.

Tabela 19: avaliação agrupada do desempenho das alternativas utilizando avaliação hesitante.

Critérios	Fornecedores	Termos ativados	Valores referentes aos termos
Qualidade	F1	EB; MB; B; IT; A	[0; 0,166; 0,333; 0,500; 0,666]
	F2	B; IT; A; MA	[0,333; 0,500; 0,666; 0,833]
	F3	B; IT; A; MA	[0,333; 0,500; 0,666; 0,833]
	F4	B; IT; A; MA	[0,333; 0,500; 0,666; 0,833]
	F5	MB; B; IT; A	[0,166; 0,333; 0,500; 0,666]
	F6	B; IT; A; MA	[0,333; 0,5; 0,666; 0,833]
	F7	EB; MB; B; IT; A; MA	[0; 0,166; 0,333; 0,500; 0,666; 0,833]
Custo	F1	IT	[0,500]
	F2	IT; A	[0,500; 0,666]
	F3	IT; MA	[0,500; 0,833]
	F4	IT; MA	[0,500; 0,833]
	F5	IT; EA	[0,500; 1,000]
	F6	IT; EA	[0,500; 1,000]
	F7	IT; MA	[0,500; 0,833]
Capacidade	F1	A; EA	[0,666; 1,000]
	F2	A; EA	[0,666; 1,000]
	F3	A	[0,666]
	F4	IT	[0,500]
	F5	IT	[0,500]
	F6	IT; A	[0,500; 0,666]
	F7	B; IT; A	[0,333; 0,500; 0,666]

Continua na próxima página.

Continuação Tabela 19: avaliação agrupada do desempenho das alternativas utilizando avaliação hesitante.

Critérios	Fornecedores	Termos ativados	Valores referentes aos termos
Entrega	F1	A; EA	[0,666; 1,000]
	F2	A; EA	[0,666; 1,000]
	F3	A	[0,666]
	F4	IT	[0,500]
	F5	IT; A	[0,500; 0,666]
	F6	IT; A	[0,500; 0,666]
	F7	A	[0,666]

Fonte: Própria autoria.

Para a definição dos valores que representam o desempenho global dos fornecedores, novamente o operador de agregação HFWA é aplicado para os valores referentes aos termos ativados na Tabela 19. As ponderações dos resultados foram realizadas com os pesos dos critérios anteriormente calculados. Sendo assim, A Tabela 20 apresenta a pontuação dos fornecedores e sua respectiva ordenação.

Tabela 20: pontuação global do desempenho dos fornecedores e ordenação.

Alternativas	Pontuação Global	Ordenação
F1	0,893	2
F2	0,908	1
F3	0,663	5
F4	0,595	7
F5	0,754	4
F6	0,788	3
F7	0,618	6

Fonte: Própria autoria.

O resultado apresentado nesta aplicação ($F2 > F1 > F6 > F5 > F3 > F7 > F4$) se diferencia dos resultados obtidos tanto pela aplicação da representação IF ($F3 > F2 > F7 > F1 > F4 > F5 > F6$), quanto na representação IvIF ($F7 > F1 > F2 > F3 > F4 > F5 > F6$). A ordenação dos fornecedores se mostrou totalmente diferente entre as abordagens, sendo que o fornecedor F2 foi considerado a melhor opção na representação HF. Algumas suposições podem ser levantadas em relação à diferença dos resultados, entre elas: a influência da hesitação no processo de avaliação; divergências nas avaliações dos

tomadores de decisão; influências dos diferentes cálculos relacionados aos operadores de agregação para cada representação.

5.4. APLICAÇÃO DO *INTERVAL-VALUED HESITANT FUZZY*

A aplicação da representação IvHF segue os mesmos princípios adotados no HFS. Entretanto, inicialmente os números hesitantes com intervalos precisam ser definidos, assim como a aplicação realizada no IvIF. A Tabela 21 apresenta os valores centrais superiores e inferiores definidos para as expressões linguísticas utilizadas na avaliação do desempenho das alternativas em relação aos critérios. A abordagem estudada e apresentada na seção 3.5 busca realizar a ordenação dos fornecedores candidatos baseados na comparação das avaliações e com os pesos dos critérios previamente definidos. Sendo assim, os pesos dos critérios foram definidos a priori pelo Diretor (DM1), sendo estes: [0,3; 0,3; 0,2; 0,2] para os critérios de Qualidade, Custo, Capacidade e Entrega respectivamente.

Tabela 21: variáveis linguísticas utilizadas e os números IvHF equivalentes.

Termos Linguísticos	Números Interval-valued <i>Hesitante fuzzy</i>	
	γ^L	γ^U
Extremamente Alto (EA)	0,95	1,00
Muito Alto (MA)	0,80	0,90
Alto (A)	0,60	0,70
Intermediário (IT)	0,50	0,55
Baixo (B)	0,35	0,45
Muito Baixo (MB)	0,15	0,30
Extremamente Baixo (EB)	0,00	0,10

Fonte: Própria autoria.

As avaliações utilizadas para os cálculos são as mesmas apresentadas anteriormente na aplicação do Hesitante Fuzzy na seção 5.3. Os pontos ativados pelos decisores e referentes as avaliações linguísticas são apresentadas pela Tabela 22. O operador de agregação utilizado para a obtenção da solução da avaliação em grupo foi o *IvHFWA* segundo as equações (59) e (60), discutido anteriormente na seção 3.6.4.

Tabela 22: avaliação agrupada do desempenho das alternativas utilizando avaliação IvHF.

Critérios	Fornecedores	Termos ativados	Valores referentes aos termos	
			γ^L	γ^U
Qualidade	F1	EB; MB; B; IT; A	[0,00; 0,15; 0,35; 0,50; 0,60]	[0,10; 0,30; 0,45; 0,55; 0,70]
	F2	B; IT; A; MA	[0,35; 0,50; 0,60; 0,80]	[0,45; 0,55; 0,70; 0,90]
	F3	B; IT; A; MA	[0,35; 0,50; 0,60; 0,80]	[0,45; 0,55; 0,70; 0,90]
	F4	B; IT; A; MA	[0,35; 0,50; 0,60; 0,80]	[0,45; 0,55; 0,70; 0,90]
	F5	MB; B; IT; A	[0,15; 0,35; 0,50; 0,60]	[0,30; 0,45; 0,55; 0,70]
	F6	B; IT; A; MA	[0,35; 0,50; 0,60; 0,80]	[0,45; 0,55; 0,70; 0,90]
	F7	EB; MB; B; IT; A; MA	[0,00; 0,15; 0,35; 0,50; 0,60; 0,80]	[0,10; 0,30; 0,45; 0,55; 0,70; 0,90]
Custo	F1	IT	[0,5]	[0,55]
	F2	IT; A	[0,50; 0,60]	[0,55; 0,70]
	F3	IT; MA	[0,50; 0,80]	[0,55; 0,90]
	F4	IT; MA	[0,50; 0,80]	[0,55; 0,90]
	F5	IT; EA	[0,50; 0,95]	[0,55; 1,00]
	F6	IT; EA	[0,50; 0,95]	[0,55; 1,00]
	F7	IT; MA	[0,50; 0,80]	[0,55; 0,90]
Capacidade	F1	A; EA	[0,60; 0,95]	[0,70; 1,00]
	F2	A; EA	[0,60; 0,95]	[0,70; 1,00]
	F3	A	[0,60]	[0,70]
	F4	IT	[0,05]	[0,55]
	F5	IT	[0,50]	[0,55]
	F6	IT; A	[0,50; 0,60]	[0,55; 0,70]
	F7	B; IT; A	[0,35; 0,50; 0,60]	[0,45; 0,55; 0,70]
Entrega	F1	A; EA	[0,60; 0,95]	[0,70; 1,00]
	F2	A; EA	[0,60; 0,95]	[0,70; 1,00]
	F3	A	[0,60]	[0,70]
	F4	IT	[0,5]	[0,55]
	F5	IT; A	[0,50; 0,60]	[0,55; 0,70]
	F6	IT; A	[0,50; 0,60]	[0,55; 0,70]
	F7	A	[0,60]	[0,70]

Fonte: Própria autoria.

Mediante a aplicação da equação (51) descrita na seção 3.5, as alternativas são comparadas par a par com o objetivo de moldar a ordenação do grau de preferência entre todas as alternativas. A Tabela 23 exhibe os resultados calculados segundo o grau de preferência e a Figura 13 ilustra um grafo da preferência entre as alternativas sendo que as setas ilustram a preferência de uma alternativa sobre a outra alternativa para qual a seta está apontando. Desta forma, as alternativas que possuem mais setas “saindo” e menos setas “entrando”, são tidas como melhores soluções. A ordenação resultante é:

O resultado apresentado nesta aplicação ($F2 > F6 > F5 > F1 > F3 > F4 > F7$.) se diferencia dos resultados obtidos tanto pela aplicação da representação IF ($F3 > F2 > F7 >$

$F1 > F4 > F5 > F6$), quanto na representação IvIF ($F7 > F1 > F2 > F3 > F4 > F5 > F6$). Entretanto a seleção do melhor fornecedor é congruente com a aplicação da representação *hesitant fuzzy* ($F2 > F1 > F6 > F5 > F3 > F7 > F4$) apontando o fornecedor F2 como a melhor solução. Mesmo assim, a ordenação dos demais fornecedores ficou diferente. Algumas suposições podem ser levantadas em relação à diferença dos resultados, entre elas: a influência da complexidade adicional presente na hesitação dos números intervalados no processo de avaliação; divergências nas avaliações dos tomadores de decisão; interferência da ponderação dos critérios e tomadores de decisão; influências dos diferentes cálculos relacionados aos operadores de agregação para cada representação e da técnica proposta em si.

Tabela 23: resultados calculados segundo o grau de preferência entre os fornecedores.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
F1	0	0,3668	0,621	0,7073	0,4812	0,3575	0,8188
F2	0,6332	0	0,8083	0,9026	0,6265	0,5045	1,025
F3	0,379	0,1917	0	0,6347	0,3364	0,1523	0,8163
F4	0,2927	0,0974	0,3653	0	0,237	0,0422	0,6823
F5	0,5188	0,3735	0,6636	0,763	0	0,364	0,8929
F6	0,6425	0,4955	0,8477	0,9578	0,636	0	1,1025
F7	0,1812	0	0,1837	0,3177	0,1071	0	0

Fonte: Própria autoria.

Figura 13: Grafo de preferência entre os fornecedores.

Fonte: Própria autoria.

6. COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS FUZZY GDM

Na literatura é possível identificar alguns trabalhos que buscam comparar técnicas multicritério utilizadas na seleção e avaliação de fornecedores e em outras aplicações. Dentre elas, podemos citar trabalhos recentes tais como a comparação entre os métodos DEMATEL-ANP e ANP para seleção de projetos *six sigma* (ORTÍZ; FELIZZOLA; ISAZA, 2015), comparação entre técnicas *fuzzy* intuicionistas IvIF-TOPSIS e IvIF-ELECTRE para seleção de prestadores terceirizados (EBRAHIMNEJAD *et al.*, 2015), comparação dos métodos *fuzzy* AHP e *fuzzy* TODIM para seleção de locais de aterro (HANINE *et al.*, 2016), análise comparativa entre métodos de tomada de decisão TOPSIS, AHP, VIKOR utilizando os conjuntos *fuzzy* intuicionistas (DAMMAK; BACCOUR; ALIMI, 2015), comparação entre dois tipos de método *fuzzy* TOPSIS (MADI; GARIBALDI; WAGNER, 2015) e comparação entre os métodos *fuzzy* AHP e *fuzzy* TOPSIS para a seleção de fornecedores (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2014).

Entretanto, vários trabalhos observados de comparação entre técnicas multicritérios estão limitados à análise da congruência ou incongruência dos resultados obtidos nas aplicações (EBRAHIMNEJAD *et al.*, 2015; DAMMAK *et al.*, 2015; MADI *et al.*, 2015), não considerando demais fatores que podem ser essenciais para a escolha de uma técnica em detrimento da outra. Um bom exemplo de fatores que devem ser considerados nos problemas de tomada de decisão é apresentado por Lima Junior, Osiro e Carpinetti (2014), sendo estes: adequação às mudanças de alternativas ou critérios; agilidade no processo de decisão; complexidade computacional; adequação ao apoio à tomada de decisões do grupo; quantidade de fornecedores e critérios alternativos; e a capacidade de modelagem da incerteza.

Após a obtenção dos resultados da aplicação das técnicas e ordenação das alternativas de fornecedores, as técnicas serão comparadas em relação aos resultados obtidos e aplicabilidade para a resolução do problema avaliado. O Capítulo 6 está estruturado da seguinte forma: Seção 6.1 apresenta uma análise de congruência na aplicação das técnicas, alterando os pesos dos critérios, dos tomadores de decisão e utilização das avaliações não hesitantes nos operadores de agregação hesitantes. As seções seguintes comparam as técnicas considerando os seguintes critérios: adequação à tomada de decisão em grupo; interação com os usuários; complexidade computacional e

capacidade de modelar incertezas. A seção 6.3 apresenta uma discussão geral sobre a comparação entre as técnicas..

6.1. ANÁLISE DE CONGRUÊNCIA NA APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS

O Quadro 17 a seguir apresenta a comparação entre os resultados das técnicas aplicadas no caso piloto estudado e relatado no Capítulo 5.

Quadro 17: resultados da ordenação das diferentes representações estudadas e implementadas.

Representação Linguística utilizada	Resultado da ordenação
<i>Intuitionistic Fuzzy</i>	$F3 > F2 > F7 > F1 > F4 > F5 > F6$
<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy</i>	$F7 > F1 > F2 > F3 > F4 > F5 > F6$
<i>Hesitante Fuzzy</i>	$F2 > F1 > F6 > F5 > F3 > F7 > F4$
<i>Interval-valued Hesitante Fuzzy</i>	$F2 > F6 > F5 > F1 > F3 > F4 > F7$

Fonte: Própria autoria.

É possível observar que nas aplicações do teste piloto as diferentes representações e técnicas apresentaram incongruência. Desta forma, com objetivo de melhor entender essas divergências, alguns testes foram realizados considerando as seguintes situações:

- Variações dos pesos dos tomadores de decisão;
- Julgamentos sem hesitação;
- Variação dos parâmetros do IF;
- Variação dos parâmetros do IvIF;
- Julgamentos com grande divergência entre os decisores.

6.1.1. Resultados com a variação dos pesos dos decisores

A análise de sensibilidade buscou avaliar o quanto as soluções alteram de acordo com as variações dos pesos utilizados na ponderação dos tomadores de decisão. Desta forma, os pesos dos tomadores de decisão foram ponderados de forma igualitária. Todas as técnicas foram aplicadas com os novos pesos, entretanto não houve alterações nos resultados das ordenações das alternativas. Desta forma, foi possível verificar que a

diferença da ponderação dos decisores não apresentou interferência nos resultados das aplicações.

6.1.2. Resultados para julgamentos sem hesitação

A segunda análise proposta foi a avaliação das técnicas baseadas nas representações *hesitant fuzzy* ao utilizar as avaliações sem hesitação dos tomadores de decisão, ou seja, as avaliações pontuais obtidas na aplicação do *intuitionistic fuzzy* foram reproduzidas nas operações do *hesitant fuzzy* e do *interval-valued hesitant fuzzy*. O Quadro 18 apresenta os resultados desta aplicação sem hesitação. É possível observar que os resultados entre as aplicações ainda apresentam incongruência; entretanto, os resultados das técnicas baseadas no HF apresentam uma maior aproximação dos resultados obtidos na técnica baseada no IF. Sendo assim, a hesitação do tomador de decisão pode influenciar diretamente nos resultados da ordenação.

Quadro 18 - resultados da ordenação das diferentes representações estudadas aplicando somente a avaliação sem hesitação.

Representação Linguística utilizada	Resultado da ordenação
<i>Intuitionistic Fuzzy</i>	F3 > F2 > F7 > F1 > F4 > F5 > F6
<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy</i>	F7 > F1 > F2 > F3 > F4 > F5 > F6
<i>Hesitante Fuzzy</i>	F2 > F3 > F1 > F7 > F4 > F5 > F6
<i>Interval-valued Hesitante Fuzzy</i>	F2 > F3 > F1 > F4 > F7 > F5 > F6

Fonte: própria autoria.

6.1.3. Resultado para a variação dos parâmetros do IF

Com o intuito de averiguar a implicação que a parametrização pode ocasionar nas aplicações com as representações intuicionistas, a Tabela 24 apresenta novos cenários de parametrização para as avaliações do desempenho das alternativas e que serão comparados com o cenário inicialmente proposto. As ordenações obtidas para cada novo cenário são relatadas no Quadro 19. Os cenários avaliados sem hesitação e que mantem o mesmo grau de pertencimento ou não pertencimentos apresentaram uma ordenação diferente da

parametrização inicial utilizada; entretanto, o fornecedor melhor avaliado permaneceu o mesmo. Para os cenários na qual o grau de pertinência é igual ao valor característico da representação *hesitant fuzzy*, o resultado da ordenação também foi alterado quando comparado com os demais cenários; porém, o melhor fornecedor classificado foi o mesmo obtido com as técnicas baseadas nas representações hesitantes. Sendo assim, é possível observar que as diferentes parametrizações, com e sem hesitação, influenciam diretamente na ordenação dos resultados.

Tabela 24: cenários de parametrização do *intuitionistic fuzzy*.

Termos Linguísticos	Caso Inicial		Sem hesitação mesmo μ_α		Sem hesitação mesmo ν_α		Mesma pertinência central HF sem hesitação		Mesma pertinência central HF e $1 - (\mu_\alpha + \nu_\alpha) < 1$	
	μ_α	ν_α	μ_α	ν_α	μ_α	ν_α	μ_α	ν_α	μ_α	ν_α
EA	0,95	0,05	0,95	0,05	0,95	0,05	1,00	0,00	1,00	0,00
MA	0,85	0,10	0,85	0,15	0,90	0,10	0,83	0,17	0,83	0,10
A	0,70	0,20	0,70	0,30	0,80	0,20	0,67	0,33	0,67	0,25
IT	0,50	0,45	0,50	0,50	0,55	0,45	0,50	0,50	0,50	0,40
B	0,40	0,50	0,40	0,60	0,50	0,50	0,33	0,67	0,33	0,60
MB	0,25	0,70	0,25	0,75	0,30	0,70	0,17	0,83	0,17	0,70
EB	0,10	0,90	0,10	0,90	0,10	0,90	0,00	1,00	0,00	0,85

Fonte: própria autoria.

Quadro 19: ordenação para os cenários analisados nas diferentes parametrizações do IF.

Cenário analisado	Resultado da ordenação
Caso Inicial	F3 > F2 > F7 > F1 > F4 > F5 > F6
Sem hesitação mesmo μ_α	F3 > F2 > F1 > F7 > F4 > F5 > F6
Sem hesitação mesmo ν_α	F3 > F7 > F2 > F1 > F4 > F5 > F6
Mesma pertinência central HF e sem hesitação	F2 > F3 > F7 > F1 > F4 > F5 > F6
Mesma pertinência central HF e $1 - (\mu_\alpha + \nu_\alpha) < 1$	F2 > F3 > F7 > F1 > F4 > F5 > F6

Fonte: própria autoria.

6.1.4. Resultado para variação dos parâmetros no IvIF

Da mesma forma, estes mesmos cenários foram aplicados para avaliação da influência das diferentes parametrizações nos resultados finais de ordenação, quando

aplicamos a representação *interval-valued intuitionistic fuzzy*. A Tabela 25 exibe os parâmetros analisados em cada cenário. Já O Quadro 20 exprime os resultados obtidos na ordenação dos resultados. Para este caso, apenas o cenário em que o grau de pertencimento é mantido apresenta a mesma ordenação da aplicação inicial. Apesar disso, todos os cenários apresentam soluções similares e com grande divergência das demais representações estudadas. Sendo assim, as operações referentes à técnica aplicada apresentam grande influência nos resultados por considerar somente o grau de pertencimento para os cálculos das pontuações dos fornecedores avaliados, já que não existe nenhum fornecedor no qual o grau de não pertencimento é maior que o grau de pertencimento.

Tabela 25: cenários de parametrização do *interval-valued intuitionistic fuzzy*.

Termos Linguísticos	Caso Inicial				Sem hesitação e mesmo μ_α				Sem hesitação e mesmo ν_α				Mesma pertinência central HF sem hesitação				Mesma pertinência central HF e $1 - (\mu_\alpha + \nu_\alpha) < 1$			
	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+	μ_-	μ_+	ν_-	ν_+
EA	0,90	1,00	0,00	0,05	0,90	1,00	0,00	0,10	0,95	1,00	0,00	0,05	0,95	1,00	0,00	0,05	0,95	1,00	0,00	0,05
MA	0,80	0,90	0,10	0,15	0,80	0,90	0,10	0,20	0,85	0,90	0,10	0,15	0,80	0,90	0,10	0,20	0,8	0,90	0,50	0,10
A	0,60	0,75	0,20	0,3	0,60	0,75	0,25	0,40	0,70	0,80	0,20	0,30	0,60	0,70	0,30	0,40	0,6	0,70	0,20	0,30
IT	0,45	0,55	0,40	0,5	0,45	0,55	0,45	0,55	0,50	0,60	0,40	0,50	0,50	0,55	0,45	0,50	0,5	0,55	0,30	0,40
B	0,30	0,40	0,50	0,6	0,30	0,40	0,60	0,70	0,40	0,50	0,50	0,60	0,35	0,45	0,55	0,65	0,35	0,45	0,40	0,50
MB	0,15	0,25	0,60	0,7	0,15	0,25	0,75	0,85	0,30	0,40	0,60	0,70	0,15	0,30	0,70	0,85	0,15	0,30	0,60	0,70
EB	0,05	0,10	0,80	0,95	0,05	0,10	0,90	0,95	0,05	0,20	0,80	0,95	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,80	0,90

Fonte: própria autoria.

Quadro 20: ordenação para os cenários analisados nas diferentes parametrizações do IvIF

Cenário analisado	Resultado da ordenação
Caso Inicial	F7 > F1 > F2 > F3 > F4 > F5 > F6
Sem hesitação mesmo μ_α	F7 > F1 > F2 > F3 > F4 > F5 > F6
Sem hesitação mesmo ν_α	F7 > F1 > F2 > F3 > F5 > F4 > F6
Mesma pertinência central IvHF e sem hesitação	F7 > F1 > F2 > F3 > F5 > F4 > F6
Mesma pertinência central IvHF $1 - (\mu_\alpha + \nu_\alpha) < 1$	F7 > F1 > F2 > F3 > F5 > F4 > F6

Fonte: própria autoria

6.1.5. Resultado para situação com grande divergência de julgamentos

Suponhamos uma situação na qual existem grandes divergências nas análises do desempenho dos fornecedores. Desta forma, deseja-se analisar a congruência dos resultados das diferentes representações para as situações com dificuldade de se alcançar o consenso. A Tabela 26 apresenta o cenário simulado com grandes divergências e utilizando as representações *intuitionistic fuzzy*. Estas avaliações serão aplicadas também como dados de entrada para a representação IvIF e utilizando a parametrização inicial proposta na Tabela 13. De forma análoga, a mesma situação de divergência (buscando-se manter a consistência de avaliação) foi aplicada para as representações hesitantes. O Quadro 21 apresenta o cenário simulado com grandes divergências e vários termos linguísticos ativados pelos decisores. Estas avaliações serão aplicadas também como dados de entrada para a representação IvHF e utilizando a parametrização inicial proposta no Quadro 21. Os resultados da ordenação para estes cenários simulados são exibidos no Quadro 22. Para este cenário de grande divergência, novamente todas as representações apresentaram resultados com ordenações diferentes. Apenas as aplicações baseadas no *intuitionistic fuzzy* e *hesitante fuzzy* apresentaram congruência para o melhor fornecedor classificado. Sendo assim, é possível concluir que os valores intervalados interferem nos resultados. Entretanto, a solução baseada na representação IvHF apresenta maior proximidade das demais soluções, enquanto a solução baseada no IvIF apresenta maior distanciamento das soluções encontradas.

Tabela 26: Avaliações intuicionistas supondo um cenário com grande divergência.

Critérios	F.	DM1			DM2			DM3			DM4		
		Av.	μ_α	ν_α	Av.	μ_α	ν_α	Av.	μ_α	ν_α	Av.	μ_α	ν_α
Qualidade	F1	EA	0,95	0,05	A	0,70	0,20	IT	0,50	0,45	MB	0,25	0,70
	F2	MA	0,85	0,10	A	0,70	0,20	B	0,40	0,50	A	0,70	0,20
	F3	A	0,70	0,20	MB	0,25	0,70	IT	0,50	0,45	IT	0,50	0,45
	F4	IT	0,50	0,45	A	0,70	0,20	B	0,40	0,50	MA	0,85	0,10
	F5	MB	0,25	0,70	B	0,40	0,50	A	0,70	0,20	IT	0,50	0,45
	F6	IT	0,50	0,45	A	0,70	0,20	EA	0,95	0,05	B	0,40	0,50
	F7	EA	0,95	0,05	A	0,70	0,20	A	0,70	0,20	MB	0,25	0,70

Continuação na próxima página.

Continuação Tabela 26: Avaliações intuicionistas supondo um cenário com grande divergência.

Critérios	F.	DM1	DM2	DM3	DM4	Critérios	F.	DM1	DM2	DM3	DM4	Critérios	F.
		Av.	μ_α	ν_α	Av.			Av.	μ_α	ν_α	Av.		
Custo	F1	IT	0,50	0,45	MB	0,25	0,70	-	-	-	-	-	-
	F2	MA	0,85	0,10	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F3	MA	0,85	0,10	MB	0,25	0,70	-	-	-	-	-	-
	F4	MA	0,85	0,10	B	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-
	F5	MB	0,25	0,70	A	0,70	0,20	-	-	-	-	-	-
	F6	MA	0,85	0,10	B	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-
	F7	MB	0,25	0,70	MA	0,85	0,10	-	-	-	-	-	-
Capacidade	F1	EA	0,95	0,05	B	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-
	F2	EA	0,95	0,05	MB	0,25	0,70	-	-	-	-	-	-
	F3	EA	0,95	0,05	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F4	A	0,70	0,20	MB	0,25	0,70	-	-	-	-	-	-
	F5	B	0,40	0,50	A	0,70	0,20	-	-	-	-	-	-
	F6	IT	0,50	0,45	EA	0,95	0,05	-	-	-	-	-	-
	F7	B	0,40	0,50	A	0,70	0,20	-	-	-	-	-	-
Entrega	F1	EA	0,95	0,05	MB	0,25	0,70	-	-	-	-	-	-
	F2	EA	0,95	0,05	B	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-
	F3	EA	0,95	0,05	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F4	IT	0,50	0,45	MB	0,25	0,70	-	-	-	-	-	-
	F5	MB	0,25	0,70	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F6	B	0,40	0,50	IT	0,50	0,45	-	-	-	-	-	-
	F7	A	0,70	0,20	B	0,40	0,50	-	-	-	-	-	-

Fonte: própria autoria.

Quadro 21: Avaliações hesitantes supondo um cenário com grande divergência.

Critérios	F.	DM1	DM2	DM3	DM4	Termos Ativados
Qualidade	F1	EA	A	IT	EB;B;MB	EB; MB; B; IT; A
	F2	MA;EA	IT;A	B	A	B; IT;A; MA; EA
	F3	MA	MB;B	IT;A	IT	MB; B; IT; A; MA
	F4	IT	A	MB;B	MA	MB; B; IT; A; MA
	F5	MB	B	A;MA	IT	MB; B; IT; A; MA
	F6	IT;A	A;MA	EA	B	B; IT; A; MA; EA
	F7	EA	A	IT;A	EB;MB;B	EB; MB; B; IT; A; EA
Custo	F1	A;MA	MB;B	-	-	MB; B; A; MA
	F2	A;MA	MB;B;IT	-	-	MB; B; IT; A; MA
	F3	IT;A;MA;	EB;MB	-	-	EB; MB; IT; A; MA
	F4	A;MA;EA	MB;B;IT	-	-	MB; B; IT; A; MA; EA
	F5	MB;B;IT	A;MA	-	-	MB; B; IT; MA; EA
	F6	A;MA	MB;B;IT	-	-	MB; B; IT; A; MA
	F7	MB;B	IT;A;MA	-	-	MB; B; A; MA

Continua na próxima página.

Continuação Quadro 21: Avaliações hesitantes supondo um cenário com grande divergência.

Crítérios	F.	DM1	DM2	DM3	DM4	Termos Ativados
Capacidade	F1	MA;EA	B;IT;A	-	-	B; IT; A; MA; EA
	F2	A;MA;EA	MB;B	-	-	MB; B; A; MA; EA
	F3	MA;EA	MB;B;IT	-	-	MB; B; IT; MA; EA
	F4	A;MA	MB;B	-	-	MB; B; A;MA
	F5	B;IT	A;MA	-	-	B; IT; A; MA
	F6	B;IT	A;MA;EA	-	-	B; IT; A; MA; EA
	F7	MB;B;IT	A; MA	-	-	MB; B; IT; A; MA
Entrega	F1	MA;EA	EB;MB;B	-	-	EB; MB; B; MA; EA
	F2	MA;EA	MB;B;IT	-	-	MB;B;IT;MA;EA
	F3	A;MA;EA	MB;B;IT	-	-	MB; B; IT; A; MA; EA
	F4	IT;A;MA	MB;B	-	-	MB; B; IT; A; MA
	F5	EB;MB;B	IT;A	-	-	EB; MB; B; IT; A
	F6	MB;B	IT;A;MA	-	-	MB; B; IT; A; MA
	F7	A;MA;EA	MB;B	-	-	MB; B; A; MA; EA

Fonte: própria autoria.

Quadro 22: ordenação para os cenários analisados com grande divergência.

Representação aplicada	Resultado da ordenação
<i>Intuitionistic Fuzzy</i>	F2 > F3 > F1 > F6 > F7 > F4 > F5
<i>Interval-valued Intuitionistic Fuzzy</i>	F7 > F6 > F1 > F3 > F2 > F4 > F5
<i>Hesitant Fuzzy</i>	F2 > F6 > F1 > F3 > F7 > F5 > F4
<i>Interval-valued Hesitant Fuzzy</i>	F6 > F2 > F5 > F4 > F3 > F1 > F7

Fonte: própria autoria.

6.1.6. Síntese da análise geral sobre a congruência dos resultados

A aplicação inicial apresentou incongruência entre os resultados das técnicas aplicadas. Somente as técnicas baseadas nas representações hesitantes ordenaram de forma congruente o fornecedor F2 como preferencial. Sendo assim, a proposição de outros cenários buscou compreender os diferentes resultados.

Ao aplicar as avaliações pontuais das técnicas intuicionistas nas técnicas hesitantes, foi possível verificar uma aproximação maior entre os resultados da ordenação. Entretanto, o fornecedor considerado como o melhor, continuou diferentes para os dois tipos de abordagem. Desta forma, é possível verificar que tanto a hesitação quanto os operadores de agregação podem influenciar na solução final das técnicas.

Por meio da modificação da parametrização das técnicas intuicionistas, foi possível averiguar que a parametrização influencia diretamente no resultado da ordenação. Sendo

assim, uma parametrização dos números IF que utiliza os valores característicos da modelagem inicial proposta na aplicação do HF, como grau de pertencimento da variável linguística (considerando e não considerando uma margem de hesitação), apresentaram maior congruência nos resultados.

Para o cenário no qual existem grandes divergências e hesitação, as técnicas baseadas nas representações HF e IF apresentaram congruência apenas para a alternativa melhor classificada, enquanto as técnicas baseadas em intervalos de valores não convergiram para resultados similares. As imprecisões adicionais proporcionadas por estas representações podem estar influenciando diretamente nos resultados.

Já a técnica baseada na representação IvIF, foi incongruente em todos os cenários observados. Isto pode ser relacionado à técnica estudada que acaba considerando apenas o maior valor entre o grau de pertencimento ou não pertencimento para o cálculo do índice de conhecimento que será utilizado na ordenação dos resultados.

6.2. ADEQUAÇÃO À TOMADA DE DECISÃO EM GRUPO

Tanto as técnicas baseadas nas representações *Hesitant Fuzzy*, quanto as baseadas no *Intuitionistic Fuzzy* são adequadas para lidar com a tomada de decisão em grupo. Ambas as representações possibilitam a utilização de diferentes opiniões de variados tomadores de decisão, sendo que, operadores de agregação são aplicados para a obtenção da matriz de avaliação conjunta.

Além disso, todas as técnicas estudadas no presente trabalho possibilitam a ponderação dos tomadores de decisão, viabilizando assim uma maior adaptação da aplicação em problemas distintos, no qual a diferenciação dos pesos é essencial. Segundo Lima-Junior (2013), a ponderação dos tomadores de decisão é imprescindível em duas situações: (I) quando existem aspectos estratégicos envolvidos na seleção de fornecedores, na qual parcerias estratégicas são desenvolvidas para uma visão de longo prazo. Nesse caso, a opinião de especialistas do alto escalão da empresa são essenciais e podem possuir uma importância maior nos julgamentos das alternativas; (II) quando existem especialistas envolvidos diretamente com os fornecedores e em processos de negociação e desenvolvimento, podendo possuir informações mais específicas e confiáveis sobre o

desempenho dos fornecedores. Sendo assim, os julgamentos desses especialistas podem ter um peso maior na decisão do fornecedor mais adequado.

Apesar de ambas as técnicas serem adequadas para a tomada de decisão em grupo, as técnicas apresentadas com a representação *Intuitionistic fuzzy*, possibilitam uma definição dos pesos dos decisores por meio dos julgamentos dos tomadores de decisão envolvidos no processo. Dessa forma, a ponderação dos pesos pode ser mais transparente com menores influências e menos tendenciosa.

Apesar da grande maioria das aplicações das técnicas estudadas neste trabalho apresentarem a participação de poucos tomadores de decisão no processo de seleção de fornecedores, deve-se ressaltar que a quantidade de agentes envolvidos pode influenciar na capacidade de processamento da representação escolhida. A representação intuicionista provavelmente lidará melhor com grandes grupos de tomadores de decisão, pois seus operadores de agregação não sofrem grandes influências sobre a quantidade de decisores envolvidos.

Outro ponto importante, nas abordagens hesitantes os termos ativados pelos decisores são unificados em uma matriz de decisão conjunta. As operações de agregação utilizam uma combinação entre os termos ativados pelo conjunto de decisores. Desta forma, em grandes grupos de decisores, que possuam grandes divergências, há a chance de ativação de muitos ou todos os termos disponíveis para avaliação. Consequentemente, pode ser mais difícil distinguir as opções avaliadas. Além disso, as aplicações conjuntas da representação hesitante com algumas técnicas (TOPSIS, ELECTRE, PROMETHEE) podem atenuar este problema, sendo que as avaliações individuais dos tomadores de decisão podem ser utilizadas como dados de entrada para o cálculo da matriz agregada dos decisores.

6.3. INTERAÇÃO COM OS USUÁRIOS

Este tópico busca avaliar a quantidade de interação que as abordagens propostas necessitam com os tomadores de decisão. A quantidade de interação está diretamente ligada com o tempo necessário para coletar os dados e o número de avaliações necessárias para viabilizar a aplicação das técnicas. Caso esse valor seja muito alto, é possível que as abordagens de tomada de decisão caiam em desuso devido à complexidade operacional.

Outro ponto a ser destacado é a liberdade de expressão dada aos tomadores de decisão pela representação linguística *fuzzy* escolhida, podendo assim facilitar os julgamentos deixando o processo mais flexível.

Para todas as técnicas apresentadas, o número de julgamentos está diretamente relacionado com a quantidade de critérios e alternativas avaliadas. Dessa forma, não existem grandes diferenças entre a quantidade de avaliações necessárias para as representações intuicionistas ou hesitantes. Entretanto, a técnica intuicionista apresentada possui uma fase de ponderação dos tomadores de decisão, o que aumenta a quantidade de julgamentos necessários segundo a quantidade de tomadores de decisão.

Em relação a definição dos parâmetros utilizados na avaliação, as representações intuicionistas podem ser melhor aproveitadas quando existem vários decisores envolvidos no processo de tomada de decisão. Isso acontece devido a formulação dos números *intuitionistic fuzzy* que representam as variáveis linguísticas e que podem ser estipuladas segundo um sistema de votação. Caso contrário, a modelagem dos números intuicionistas apresenta somente uma margem de erro ou imprecisão definida posteriormente ao processo de tomada de decisão.

Quando avaliamos a flexibilidade de avaliação dos tomadores de decisão, as abordagens hesitantes proporcionam uma maior liberdade de expressão dos julgamentos. Enquanto as abordagens intuicionistas necessitam de uma avaliação singular de cada decisor, as abordagens hesitantes permitem que os agentes envolvidos avaliem as alternativas com expressões mais complexas e próximas da realidade, podendo ser uma avaliação singular com a ativação de apenas um termo linguístico, ou uma avaliação hesitante com a ativação de vários termos linguísticos. Durante a aplicação do questionário na aplicação piloto, os tomadores de decisão envolvidos questionaram sobre a possibilidade de realizar essa hesitação na fase de avaliação singular, o que pode demonstrar a importância de flexibilizar o processo de representação da informação.

6.4. COMPLEXIDADE COMPUTACIONAL

Vários aspectos computacionais podem ser levados em conta na avaliação da complexidade computacional durante a solução de problemas (PAPADIMITRIOU, 2003),

entretanto, a principal preocupação no processo de decisão de seleção de fornecedores está relacionada à complexidade do tempo, que se refere ao tempo em que o algoritmo é realizado (JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2014; CHANG, 1996). A complexidade do tempo varia de técnica para técnica em função do número de variáveis de entrada, que no caso da seleção de fornecedores, se refere ao número de fornecedores, critérios e tomadores de decisão. Portanto, a complexidade computacional será avaliada segundo o número de operações aplicados na resolução de cada técnica estudada.

Seja D o número de decisores, C o número de critérios e A o número de alternativas, a quantidade de operações realizadas para cada técnica em cada representação *intuitionistic fuzzy* é apresentado a seguir:

Intuitionistic Fuzzy:

- Número de operações para ponderação dos decisores:

$$8D + D^2. \quad (61)$$

- Número de operações na ponderação dos critérios:

$$10C(D - 1). \quad (62)$$

- Número de operações para avaliação do desempenho das alternativas:

$$AC(10D + 11) + 6C + 8A. \quad (63)$$

- Expressão final para cálculo do número de operações utilizadas na técnica:.

$$AC(10D + 11) + 6C + 8A + 8D + D^2 + 10C(D - 1). \quad (64)$$

Interval-valued Intuitionistic Fuzzy

- Número de operações para avaliação do desempenho das alternativas:

$$6ACD + 4D - 2. \quad (65)$$

- Número de operações para agregação dos valores ponderados:

$$6CA + 4C - 2. \quad (66)$$

- Número de operações para definição do coeficiente:

$$18A. \quad (67)$$

- Expressão final para cálculo do número de operações utilizadas na técnica:

$$6AC(D + 1) + 4D + 4C + 18A - 4. \quad (68)$$

Para ilustrar o número de operações necessários para a aplicação das técnicas com representações intuicionistas, a Tabela 27 exibe o resultado para diferentes valores de decisores, critérios e alternativas envolvidos no processo de decisão. Da mesma forma, a Figura 14 busca comparar graficamente o incremento do número das operações necessárias segundo o aumento da quantidade de decisores, critérios e alternativas em um possível problema.

Tabela 27: número de operações de acordo com a variação dos parâmetros nas representações intuicionistas.

Técnicas	D	C	A	Resultado
IF	3	3	3	504
	4	4	4	1040
	5	5	5	1860
	7	7	7	4592
	10	10	10	12320
	15	15	15	38880
	20	20	20	89040
	3	3	3	290
IVIF	4	4	4	580
	5	5	5	1026
	7	7	7	2530
	10	10	10	6856
	15	15	15	21986
	20	20	20	50916

Fonte: Própria autoria.

Figura 14: gráfico com o número de operações das técnicas intuicionistas.

Fonte: Própria autoria.

Seja TC_{ij} a quantidade de termos ativados pelo decisor i no critério j e TA_{kj} a quantidade de termos linguísticos ativados pelos decisores na alternativa k e ponderados pelo critério j , então o número de operações resultantes pode ser representado conforme as formulações a seguir:

Hesitant Fuzzy

- Número de operações na ponderação dos critérios:

$$\sum_{j=1}^C \left(\prod_{i=1}^D (TC_{ij}) + 2D + 1 \right) + CD.$$

- Número de operações para avaliação do desempenho das alternativas:.

$$\sum_{k=1}^A \left(\prod_{j=1}^C (TA_{kj}) + 2C + 1 \right) + CA.$$

- Expressão final para cálculo do número de operações utilizadas na técnica:

$$\sum_{j=1}^C \left(\prod_{i=1}^D (TC_{ij}) + 2D + 1 \right) + CD + \sum_{k=1}^A \left(\prod_{j=1}^C (TA_{kj}) + 2C + 1 \right) + C(A + D).$$

Interval-valued Hesitant Fuzzy

- Número de operações para avaliação do desempenho das alternativas:

$$2. \left(\left(\sum_{k=1}^A \left(\prod_{j=1}^C (TA_{kj}) + 2C + 1 \right) \right) + CA \right)$$

- Número de operações para definição do coeficiente:

$$16A.$$

- Expressão final para cálculo do número de operações utilizadas na técnica:.

$$2. \left(\left(\sum_{k=1}^A \prod_{j=1}^C (TA_{kj} + 2C + 1) \right) + CA \right) + 16A$$

Com o intuito de exemplificar a quantidade de operações matemáticas necessárias para a aplicação das técnicas baseadas na representação hesitante, a Tabela 28 exprime os resultados para as diferentes quantidades de agentes e parâmetros envolvidos no processo de tomada de decisão. Ressalta-se que para esta exemplificação, a quantidade de termos ativados foi mantida a mesma para facilitar a identificação da influência dos demais fatores. Equitativamente retratado nas abordagens intuicionistas, a Figura 15 ilustra graficamente o rápido crescimento da complexidade computacional ao incrementar as quantidades de decisores, critérios e alternativas em um problema de decisão.

Tabela 28: número de operações de acordo com a variação dos parâmetros para as representações hesitantes.

Técnicas	D	TC	C	TA	A	Resultado
HF	3	3	3	3	3	231
	4	3	4	3	4	768
	5	3	5	3	5	2615
	7	3	7	3	7	30975
	10	3	10	3	10	1181700
	15	3	15	3	15	430468815
	20	3	20	3	20	1,395E+11
IVHF	3	3	3	3	3	242
	4	3	4	3	4	762
	5	3	5	3	5	2582
	7	3	7	3	7	30858
	10	3	10	3	10	1181382
	15	3	15	3	15	430467962
	20	3	20	3	20	1,395E+11

Fonte: Própria autoria.

Figura 15: gráfico com o número de operações das técnicas intuicionistas.

Fonte: Própria autoria.

6.5. CAPACIDADE DE MODELAR INCERTEZAS

Tanto as técnicas baseadas nas representações intuicionistas, quanto nas hesitantes, possuem alta capacidade de modelar informações imprecisas por meio da aplicação dos números *fuzzy* que quantificam as avaliações dos tomadores de decisão. Entretanto, as diferentes representações estudadas apresentam formas diferenciadas de tratar as incertezas no processo de tomada de decisão.

As técnicas baseadas nas representações intuicionistas buscam modelar a incerteza do processo de tomada de decisão proporcionando uma margem de erro na definição dos números *fuzzy*. Dessa forma, a diferença obtida entre o grau de pertinência e o de não pertinência é considerado como uma medida de indeterminação ou hesitação. O IF pode representar a indecisão de um sistema de votação para um grupo grande, facilitando assim sua modelagem como número *fuzzy*.

As aplicações de técnicas baseadas na representação do *hesitant fuzzy* são diferenciadas de qualquer outra representação utilizada na literatura até o momento. Essa distinção é causada principalmente pela capacidade de modelar a incerteza. Ao utilizar o HFS, o tomador de decisão não precisa definir uma única variável linguística que represente sua opinião, e sim pode expressar sua indecisão nos julgamentos, selecionando uma ou mais variáveis linguísticas que representem sua avaliação. Dessa forma, a indecisão

não está na proposição de uma margem de erro, mas sim na indefinição por parte dos decisores em selecionar uma única variável que represente sua opinião.

Apesar das propriedades singulares das técnicas que aplicam as representações IF e HF, ambas necessitam ser modeladas em números *fuzzy* que representam as variáveis linguísticas no processo de avaliação. Contudo, muitas vezes a definição dos valores dos números *fuzzy* são difíceis devido a uma incerteza adicional do problema abordado. Desta forma, as representações com intervalos de valores podem ser aplicadas para a definição dos números *fuzzy*, os quais não possuem um único valor fixo predefinido, podendo estar contido em um intervalo estipulado.

Embora todas as técnicas abordadas neste trabalho sejam capazes de lidar com as imprecisões e incertezas, a definição da melhor representação *fuzzy* dependerá diretamente do problema abordado e das informações disponíveis para a modelagem dos números *fuzzy*.

6.6. SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA COMPARAÇÃO

Com o intuito de sintetizar as comparações entre as técnicas de tomada de decisão O Quadro 23 a seguir apresenta os resultados obtidos e comentados abaixo. Ao analisar a congruência, todas as técnicas implementadas apresentaram resultados diferentes. As padronizações dos pesos utilizados nas ponderações não alteraram os resultados. Todavia, as aplicações das avaliações sem hesitação para todas as técnicas favoreceram resultados mais próximos entre as diferentes representações, porém com soluções diferentes. Apesar da alternativa melhor classificada não ser a mesma, as três piores alternativas classificadas são congruentes. Além disso, as demais alternativas apresentam diferenças de apenas uma posição, na qual alternativas mal avaliadas anteriormente na representação HF (F3 por exemplo) é alocada como a segunda melhor para este caso avaliado. A explicação para essas diferenças pode estar relacionada aos diferentes operadores de agregação.

Foi verificado que a parametrização dos números *fuzzy* intuicionistas influenciam diretamente nos resultados; e para o cenário na qual o grau de pertencimento é igual ao valor característico utilizado nos números hesitantes (Quadro 19, linha 4), os resultados são parcialmente congruentes, com a mesma alternativa na primeira posição (F2), porém com ordenação diferente das demais alternativas. Para o cenário na qual existem grandes

divergências, tanto a representação HF quanto a representação IF apresentaram ordenação parcialmente similares. A representação IvIF foi a única que não apresentou congruências em nenhum cenário analisado, o que pode ser justificado segundo as propriedades da técnica estudada e implementada.

Em relação à adequação à tomada de decisão em grupo, a técnica com a representação IvHF foi a única que não apresentou ponderação dos tomadores de decisão. Contudo, podem ser propostas técnicas híbridas que permitam esta ponderação. Além disso, as abordagens intuicionistas são descritas como melhores para lidar com grandes grupos de decisores ou avaliações muito divergentes. Nestes casos, as avaliações hesitantes podem ativar muitos termos, dificultando os cálculos e a diferenciação entre as alternativas.

Na interação com os usuários a técnica com representação intuicionista se destaca devido à capacidade de definir os pesos dos tomadores de decisão. No entanto, as técnicas baseadas nas representações hesitantes oferecem maior liberdade de expressão para os decisores. Somente a abordagem estudada IvHF não permitem a elicitación e ponderação dos critérios.

Quando observamos a complexidade computacional, as técnicas hesitantes apresentam menor número de cálculos necessários para problemas com números de parâmetros fixados em até 4 critérios, 4 alternativas, 4 decisores e média de 3 termos linguísticos ativados para cada avaliação. Ao incrementar esses valores, a complexidade computacional das aplicações hesitantes aumenta exponencialmente. Desta forma, a partir destes valores, as técnicas baseadas nas representações intuicionistas apresentam menor número de cálculos necessários.

Apesar de ambos os tipos de representações serem capazes de modelar as incertezas do processo de tomada de decisão, cada representação deve ser utilizada para um tipo de imprecisão presente no problema. As representações hesitantes são mais adequadas quando existem dúvidas na definição da variável que representa o julgamento, podendo ativar um ou mais termos linguísticos. Já a representação intuicionista é mais adequada quando deseja-se adicionar uma margem de erro na definição dos números *fuzzy* que representam as variáveis linguísticas. As representações intervalares são mais adequadas para problemas mais complexos no qual é muito difícil realizar a definição dos parâmetros dos números *fuzzy*.

Quadro 23: Síntese dos resultados da comparação entre as técnicas com diferentes representações *fuzzy*.

Parâmetros de comparação	Fatores considerados	Intuitionistic Fuzzy	Interval-valued Intuitionistic Fuzzy	Hesitant Fuzzy	Interval-valued Hesitant Fuzzy
Congruência dos resultados	Com hesitação	Resultados incongruentes			
	Sem hesitação	Resultados próximos			
	Pesos iguais	Sem alteração nos resultados (incogruente)			
	Parametrização do IF = HF	Resultados parcialmente congruentes para as representações HF, IF e IvHF			
	Cenário com grande divergências	Resultados congruentes para as representações HF e IF			
Adequação à tomada de decisão em grupo	Ponderação dos decisores	Sim	Sim	Sim	Não
	Capacidade de lidar com grandes grupos de decisores	Maior	Maior	Menor	Menor
Interação com o usuário	Elicitação dos pesos dos decisores	Sim	Não	Não	Não
	Elicitação dos pesos dos critérios	Sim	Sim	Sim	Não
	Flexibilidade de avaliação	Menor	Menor	Maior	Maior
Complexidade computacional	Até 4 parâmetros considerados	Maior	Maior	Menor	Menor
	Acima de 4 parâmetros	Menor	Menor	Maior	Maior
Modelagem de incertezas	Margem de erro na definição da variável	Sim	Sim	Não	Sim
	Incerteza na definição dos julgamentos	Não	Não	Sim	Sim

Fonte: Própria autoria.

7. CONCLUSÃO

O fecho desta dissertação busca levantar o trabalho desenvolvido, bem como suas limitações e oportunidades de trabalhos futuros. Sendo assim, a Seção 7.1 busca apresentar uma avaliação dos principais resultados obtidos. A Seção 7.2 enumera as limitações do presente trabalho e, a seção 7.3, relata as oportunidades de estudos futuros.

7.1. CONTRIBUIÇÕES E RESULTADOS

A presente dissertação de mestrado contribuiu para a ampliação do conhecimento de três formas: (I) levantamento bibliográfico das técnicas, representações e operadores de agregação utilizados nos problemas estudados; (II) proposição de um modelo geral de aplicação das técnicas implementadas para guiar o desenvolvimento do estudo piloto e resolução de problemas relacionados; (III) comparação entre as técnicas com diferentes representações para facilitar a escolha da mais adequada para cada contexto de problema de seleção de fornecedores.

A revisão sistemática apresentada possibilitou identificar as técnicas mais aplicadas, representações mais adequadas, e operadores de agregação em comum. Deste modo, foi identificado um crescimento dos estudos, uma grande diversificação das aplicações e revistas que expuseram a problemática e uma concentração dos países que mais estudam o tema. Com este levantamento bibliográfico, as abordagens hesitante, intuicionistas e suas generalizações foram escolhidas para serem estudadas e implementadas, bem como a utilização dos operadores baseados em média ponderada.

Foi proposto um modelo geral para aplicação das técnicas de tomada de decisão baseadas nas representações linguísticas *fuzzy*. O modelo possui quatro etapas de aplicação, sendo estas a definição das variáveis e parâmetros de entrada, julgamentos dos tomadores de decisão selecionados, agregação dos julgamentos obtidos e, definição do resultado final. O modelo proposto guiou a aplicação do estudo piloto em uma indústria têxtil e espera-se que o mesmo seja capaz de embasar a aplicação das técnicas em outras indústrias de variados setores de produção.

A aplicação piloto realizada possibilitou analisar o desempenho das diferentes representações linguísticas *fuzzy*, bem como a congruência dos resultados de ordenação. Testes foram aplicados para avaliar a diferença nos resultados das técnicas. Apesar dos testes, não foi possível identificar a origem de todas as divergências entre as soluções, entretanto algumas suposições foram levantadas.

- Para avaliar a influência da hesitação e dos valores intervalados, a avaliação pontual sem hesitação foi aplicada nos operadores hesitantes. Desta forma foi possível concluir que a hesitação na avaliação dos fornecedores influencia diretamente nos resultados finais, assim como as operações equivalentes dos operadores de agregação apresentam interferência nos resultados.
- A variação dos parâmetros da representação IF mostrou que a parametrização das variáveis linguísticas influencia diretamente na ordenação do resultado. Além disso, foi possível averiguar que os valores intervalados também interferem nos resultados nos diferentes cenários propostos.
- A variação dos parâmetros da representação IvIF não apresentaram grandes influências nos resultados finais. Porém, a ordenação do resultado foi modificada quando foi realizada uma alteração no grau de pertencimento das variáveis. Sendo assim, a proposta de cálculo da técnica estudada pode estar interferindo nos resultados ao considerar somente o grau de pertencimento.
- Para um cenário de grande divergência, as representações IF e HF obtiveram o mesmo resultado para a alternativa melhor classificada. Entretanto, a diferença dos resultados para as demais alternativas pode ser justificada com base nas propriedades dos operadores de agregação de cada representação. Já a incongruência das técnicas IvIF e IvHF, demonstram que os valores intervalados apresentam uma imprecisão adicional na definição das variáveis que também influenciam nos resultados finais.

As técnicas também foram comparadas em relação à: adequação à tomada de decisão em grupo, interação com o usuários, complexidade computacional e capacidade de modelar incertezas. Ambas as representações *fuzzy* se mostraram adequadas para tratar os problemas de tomada de decisão em grupo, entretanto para grupos maiores e com grande divergência, a representação intuicionista pode ser considerada mais adequada por não sofrer com a influência de vários decisores com opiniões divergentes.

A interação com os usuários apresenta pouca necessidade de dados de entradas em todas as abordagens, entretanto a abordagem IF possibilita a elicitación dos pesos dos tomadores de decisão. Apesar disso, as representações hesitantes oferecem uma maior flexibilidade para o tomador de decisão expressar sua opinião.

A complexidade computacional foi avaliada segundo a quantidade de operações necessárias para chegar na solução final. Desta forma, a complexidade computacional está relacionada a quantidade de tomadores de decisão, critérios, alternativas e números *fuzzy* ativados. Para um cenário com até 4 decisores, 4 critérios, 4 alternativas e média de 3 números *fuzzy* ativados, as representações hesitantes apresentam menor complexidade computacional. Para os cenários os quais esses parâmetros são maiores, as técnicas com representações intuicionistas apresentam menor complexidade computacional.

Sobre a capacidade de modelar incertezas, tanto as representações intuicionistas quanto as hesitantes são capazes de modelar a imprecisão, entretanto as abordagens intuicionistas são mais adequadas quando não existe uma definição certa sobre o grau de pertencimento dos termos linguísticos utilizados, sendo assim, contribuem para a flexibilização da definição da parametrização das variáveis correspondentes aos termos linguísticos. Já as abordagens hesitantes são mais adequadas quando existe uma incerteza nos julgamentos sobre quais variáveis linguísticas representam a avaliação pretendida pelo decisor. Sendo assim, as técnicas apresentam diferentes formas de representar a incerteza do processo de tomada de decisão, e a melhor representação dependerá das características do processo de decisão e a origem da incerteza que necessita ser modelada.

7.2. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A seguir são apresentadas algumas limitações do presente trabalho:

- Foram aplicados somente os operadores de agregação baseados em médias ponderadas para possibilitar a comparação entre as técnicas. Deste modo, outros operadores com diferentes propriedades não foram analisados.
- Para todas as representações estudadas, existem variações de técnicas e metodologias de aplicação, nas quais são feitas combinações entre diferentes técnicas multicritérios e as representações *fuzzy* (conforme Quadro 3), entretanto o

presente trabalho limitou-se a aplicação de apenas uma técnica de tomada de decisão em grupo para cada representação linguística estudada. Desta forma, não foi possível averiguar a influência de diferentes técnicas em cada representação linguística.

- Apesar da aplicação piloto, não foi realizada a validação do modelo na empresa estudada e nem em outras empresas.
- As comparações entre as técnicas aplicadas foram limitadas aos parâmetros propostos no projeto. Não foram apreciados a adequação às mudanças de alternativas ou critérios; agilidade no processo de decisão e variações entre a interação da quantidade de critérios, alternativas, tomadores de decisão e pontos ativados.
- Como dificuldades, pode-se levantar as restrições para coleta de informações, bem como a dificuldade de implementação e validação do modelo no processo de tomada de decisão dentro das empresas.

7.3. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Baseado no desenvolvimento desta dissertação de mestrado, foi possível identificar oportunidades de estudos complementares futuros. A seguir são enumeradas sugestões de trabalhos que podem contribuir para a ampliação do conhecimento no tema abordado:

- Averiguação do comportamento das diferentes técnicas de tomada de decisão em grupo ao utilizar diferentes operadores de agregação. Este estudo pode colaborar com a definição dos operadores de agregação para cada cenário de grupo de decisores, por exemplo, grupo com grande divergência ou grupos com grande concordância de avaliações.
- Comparação entre técnicas de tomada de decisão com avaliações individuais e técnicas de minimização da discordância entre o grupo de decisores com métodos iterativos. Por meio desta investigação, pode-se delimitar para quais cenário o processo de decisão em concordância é mais indicado e quando é importante considerar a discordância entre os decisores.
- Estudar e aplicar técnicas que buscam combinar as representações intuicionistas e hesitantes, com o objetivo de contemplar tanto a imprecisão na definição dos

parâmetros das variáveis linguísticas, como também a imprecisão nos julgamentos dos tomadores de decisão.

- Estudo da robustez das técnicas por meio de testes adicionais, considerando uma maior variedade de cenários de julgamentos e de opções de parametrização.
- Testes adicionais, comparando os resultados das técnicas aplicadas em cada representação fuzzy estudada com outras técnicas multicritério bem difundidas na literatura, tais como *fuzzy* TOPSIS e *fuzzy* AHP.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, L. Fuzzy Multi Criteria Decision Making and its Applications: A Brief Review of Category. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 97, p. 131–136, 2013.
- AI, F. Y.; YANG, J. Y.; ZHANG, P. D. An approach to multiple attribute decision making problems based on hesitant fuzzy set. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 27, n. 6, p. 2749-2755, 2014.
- AFFUL-DADZIE, E.; OPLATKOVÁ, Z. K.; PRIETO, B. L. A. Comparative State-of-the-Art Survey of Classical Fuzzy Set and Intuitionistic Fuzzy Sets in Multi-Criteria Decision Making. **International Journal of Fuzzy Systems**, p. 1-3, 2016.
- AFZALI, A.; RAFSANJANI, M.K.; SAEID, A.B. A Fuzzy Multi-objective Linear Programming Model Based on Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Sets for Supplier Selection. **International Journal of Fuzzy Systems**, v. 18, n. 5, p. 864-874, 2016.
- AGARWAL, P.;SAHAI, M.; MISHRA, V.; BAG, M.; SINGH, V. A review of multi-criteria decision making techniques for supplier evaluation and selection. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 2, p. 801-810, 2011.
- AGGARWAL, M. A New Family of Induced OWA Operators. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 30, n. 2, p. 170-205, 2015.
- AGGARWAL, M. Compensative weighted averaging aggregation operators. **Applied Soft Computing**, v. 28, p. 368-378, 2015.
- AI, F. Y.; YANG, J. Y.; ZHANG, P. D. An approach to multiple attribute decision making problems based on hesitant fuzzy set. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v: 27, n. 6, p. 2749-2755, 2014.
- AKSAKAL, E.; DAGDEVIREN, M. Talent management based personnel assignment model and solution proposal. **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, v. 30, n. 2, p. 249-262, 2015.
- ALAMRI, A. A.; HARRIS, I.; SYNTETOS, A. A. Efficient inventory control for imperfect quality items. **European Journal of Operational Research**, v. 254, p. 92 -104, 2015.
- ALMEIDA, A.T., MORAIS D.C., COSTA A.P., ALENCAR L.H., DAHER S. Decisão em grupo e negociação: métodos e aplicações, **Ed. Atlas**, São Paulo, 2012.
- ALOINI, D.; DULMIN, R.; MININNO, V. A peer IF-TOPSIS based decision support system for packaging machine selection. **Expert Systems With Applications**, v. 41, n. 5, p. 2157-2165, 2014.
- AMID, A.; GHODSYPOUR, H. H.; O'BRIEN, C. Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 104, n. 2, p. 394-407, 2006.
- AMORIM, P.; CURSIO, E.; ALMADA-LOBO, B.; BARBOSA-PÓVOA, A. P. F. D. Supplier selection in the processed food industry under uncertainty. **European Journal of Operational Research**, v. 252, n. 3, p. 801-814, 2016.

ARABZAD, S. M.; GHORBANI, M.; RAZMI, J.; SHIROUYEHZAD, H. Employing fuzzy TOPSIS and SWOT for supplier selection and order allocation problem. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v 76, n. 5, p. 803-818, 2015.

ARAZ, C.; OZFIRAT, P. M.; OZKARAHAN, I. An integrated multicriteria decision-making methodology for outsourcing management. **Computers & Operations Research**, v. 34, n. 12, p. 3738-3756, 2007.

ASSAD, F. T.; NETO, J. B. S. S.; MORAES, K. K.; COSTA, N. J.; SANTOS, V. C. Processamento do algodão para a produção têxtil. **IV encontro de engenharia de produção agroindustrial**. 2010.

ATANASSOV, K. Intuitionistic Fuzzy Sets. **Fuzzy sets and Systems**, v. 20, n. 1, p. 87-96, 1986.

ATANASSOV, K. T.; GARGOV, G. Interval-valued intuitionistic fuzzy sets. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 31, n. 1, p.343-349, 1989.

ATANASSOV, Krassimir T. Operators over interval valued intuitionistic fuzzy sets. **Fuzzy sets and systems**, v. 64, n. 2, p. 159-174, 1994.

AYDIN, S.; KAHRAMAN, C. Multiattribute Supplier Selection Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 3, n. 5, p. 553-565, 2010.

BALEZENTIS, A.; BALEZENTIS, T. A novel method for group multi-attribute decision making with two-tuple linguistic computing: supplier evaluation under uncertainty. **Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research**, v. 45, n. 4, p. 5-29, 2011.

BALEZENTIS, A.; BALEZENTIS, T. An innovative multi-criteria supplier selection based on two-tuple multimooora and hybrid data. **Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research**, v. 45, n. 2, p. 37-56, 2011.

BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos/Logística empresarial. 5ª edição. **Bookman**, Porto Alegre, 2006.

BANAEIAN, N.; MOBLI, H.; NIELSEN, I. E.; OMID, M. Criteria definition and approaches in green supplier selection - a case study for raw material and packaging of food industry. **Production and Manufacturing Research**, v. 3, n. 1, p. 149-168, 2015.

BANAEIAN, Narges et al. Green supplier selection using fuzzy group decision making methods: A case study from the agri-food industry. **Computers & Operations Research**, v. 89, p. 337-347, 2018.

BAYKASOĞLU, A.; GÖLCÜK, İ. Development of an interval type-2 fuzzy sets based hierarchical MADM model by combining DEMATEL and TOPSIS. **Expert Systems with Applications**, v. 70, p. 37-51, 2017.

BELLMAN, R. E.; ZADEH, L. A. Decision making in a fuzzy environment. *Management Science*, v. 17, p.141-164, 1970.

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, n. 8, p. 11363-11368, 2009.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. Gestão logística de cadeias de suprimentos. **Bookman**, Porto Alegre, 2007.

BUYUKOZKAN, G. An integrated fuzzy multi-criteria group decision-making approach for green supplier evaluation. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 11, p. 2892-2909, 2012.

BUYUKOZKAN, G.; ARSENYAN, J. Supplier Selection in an Agile Supply Chain Environment Using Fuzzy Axiomatic Design Approach. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 42, n. 4, p. 840-845, 2009.

BÜYÜKÖZKAN, Gülçin; GÖÇER, Fethullah. Application of a new combined intuitionistic fuzzy MCDM approach based on axiomatic design methodology for the supplier selection problem. **Applied Soft Computing**, v. 52, p. 1222-1238, 2017.

CAKIR, S. Selecting appropriate ERP software using integrated fuzzy linguistic preference relations fuzzy TOPSIS method. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 9, n. 3, p. 433-449, 2016.

ÇAKIR, Süleyman. Selecting the best supplier at a steel-producing company under fuzzy environment. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 88, n. 5-8, p. 1345-1361, 2017.

CAMARGO, VICTOR C. B.; TOLEDO, FRANKLINA M. B.; ALMADA-LOBO, BERNARDO. HOPS - Hamming-Oriented Partition Search production planning in the spinning industry. **European Journal of Operational Research**, v. 234, n. 1, p. 266-277, 2014.

CAMARGO, VICTOR C. B.; TOLEDO, FRANKLINA M. B.; ALMADA-LOBO, BERNARDO. HOPS - Hamming-Oriented Partition Search production planning in the spinning industry. **European Journal of Operational Research**, v. 234, n. 1, p. 266-277, APR 1 2014.

CAMARGO, VICTOR C. B. **Optimization of processes in textile industry: models and solution methods**. Tese de Doutorado, São Carlos, 2012.

CELEBI, N.; SELVI, I. H. An integrated fuzzy-grey based approach to group decision making problem for a wagon company. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 26, n. 1, p. 353-365, 2014.

CELIK, E.; ERDOGAN, M.; GUMUS, A. T. An extended fuzzy TOPSIS-GRA method based on different separation measures for green logistics service provider selection. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 13, n. 5, p. 1377-1392, 2016.

CELIK, E.; GUMUS, A. T.; ERDOGAN, M. A New Extension of the ELECTRE Method Based Upon Interval Type-2 Fuzzy Sets for Green Logistic Service Providers Evaluation. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 44, n. 5, p. 1813-1827, 2016.

CHAI, J. Y.; LIU, J. N. K.; XU, Z. S. A rule-based group decision model for warehouse evaluation under interval-valued Intuitionistic fuzzy environments. **Expert Systems With Applications**, v. 40, n. 6, p. 1959-1970, 2013.

CHAI, J. Y.; NGAI, E. W. T. Multi-perspective strategic supplier selection in uncertain environments. **International Journal of Production Economics**, v. 166, n. especial SI, p. 215-225, 2015.

CHAI, JUNYI; NGAI, ERIC W. T. Decision model for complex group argumentation. **Expert Systems With Applications**, v. 45, p. 223-233, 2016.

CHANG, Da-Yong. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. **European journal of operational research**, v. 95, n. 3, p. 649-655, 1996.

CHEN, Na; XU, Zeshui; XIA, Meimei. Interval-valued hesitant preference relations and their applications to group decision making. **Knowledge-Based Systems**, v. 37, p. 528-540, 2013.

CHEN, T. Y. An ELECTRE-based outranking method for multiple criteria group decision making using interval type-2 fuzzy sets. **Information Sciences**, v. 263, p. 1-21, 2014.

CHEN, T. Y. Multiple criteria group decision-making with generalized interval-valued fuzzy numbers based on signed distances and incomplete weights. **Applied Mathematical Modeling**, v. 36, n. 7, p. 3023-3046, 2012.

CHEN, T. Y.; WANG, H. P.; LU, Y. Y. A multicriteria group decision-making approach based on interval-valued intuitionistic fuzzy sets: A comparative perspective. **Expert Systems With Applications**, v. 38, n. 6, p. 7647-7658, 2011.

CHEN, X.; FAVILUKIS, J.; LUDVIGSON, S. C. An estimation of economic models with recursive preferences. **Quantitative Economics**, v.4, n. 1, p. 39-83, 2013.

CHEN, X. H.; YANG, L.; WANG, P.; YUE, W. A Fuzzy Multicriteria Group Decision-Making Method with New Entropy of Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Sets. **Journal of Applied Mathematics**. n. 827268, p. 1-8, 2013.

CHEN, Z. P.; YANG, W. An MAGDM based on constrained FAHP and FTOPSIS and its application to supplier selection. **Mathematical and Computer Modeling**, v. 54, n. 11, p. 2802-2815, 2011.

CHEN, Shyi-Ming; CHANG, Chia-Hao. Fuzzy multiattribute decision making based on transformation techniques of intuitionistic fuzzy values and intuitionistic fuzzy geometric averaging operators. **Information Sciences**, v. 352, p. 133-149, 2016.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. (2003). Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação. São Paulo: Pearson – Prentice Hall.

DALALAH, D.; HAYAJNEH, M.; BATIEHA, F. A fuzzy multi-criteria decision making model for supplier selection. **Expert Systems With Applications**, v. 38, n. 7, p. 8384-8391, 2011.

DAMMAK, F.; BACCOUR, L.; ALIM, A. M. A comparative analysis for multi-attribute decision making methods: TOPSIS, AHP, VIKOR using intuitionistic fuzzy sets. **International Conference on Fuzzy Systems**, 2015.

DARABI, S.; HEYDARI, J. An Interval- Valued Hesitant Fuzzy Ranking Method based on Group Decision Analysis for Green Supplier Selection. **IFAC-Papers On Line**, v. 49, n. 2, p. 12-17, 2016.

DE BOER, L.; LABRO, E.; MORLACCHI, P. A review of methods supporting supplier selection. **European Journal of Purchasing and Supply Management**, v. 7, n. 2, p. 75–89, 2001.

DENG, Xinyang et al. Supplier selection using AHP methodology extended by D numbers. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 1, p. 156-167, 2014.

DONG, Qingxing; ZHŮ, Kèyù; COOPER, Orrin. Gaining consensus in a moderated group: A model with a twofold feedback mechanism. **Expert Systems with Applications**, v. 71, p. 87-97, 2017.

- DOWLATSHAHI, S.; KARIMI-NASAB, M.; BAHROLOLUM, H. A group decision-making approach for supplier selection in configuration design: A case study. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 81, n.5, p. 1139-1154, 2015.
- DRAGINCIC, J.; VRANESEVIC, M. AHP-Based Group Decision Making Approach to Supplier Selection of Irrigation Equipment. **Water Resources**, v. 41, n. 6, p. 782-791, 2014.
- DURSUN, M.; KARSAK, E. E. A QFD-based fuzzy MCDM approach for supplier selection. **Applied Mathematical Modeling**, v. 37, n. 8, p. 5864-5875, 2013.
- EBRAHIMNEJAD, S.; HASHEMI, H.; MOUSAVI, S. M.; VAHDANI, B. A new interval-valued intuitionistic fuzzy model to group decision making for the selection of outsourcing providers. **Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research**, v. 49, n. 2, p. 269-290, 2015.
- EKEL, P.; QUEIROZ, J.; PARREIRAS, R.; PALHARES, R. Fuzzy set based models and methods of multicriteria group decision making. **Nonlinear Analysis**, v. 71, p. 409-419, 2009.
- ERTAY, T.; KAHVECI, A.; TABANLI, R. M. An integrated multi-criteria group decision-making approach to efficient supplier selection and clustering using fuzzy preference relations. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v: 24, n. 12, p. 1152-1167, 2011.
- ESANGBEDO, M.O.; CHE, A. Evaluating Business Environment in Africa Using Grey Number Weights. **Grey Relational Analysis**, v: 28, n. 3, p. 26-47, 2016.
- ESANGBEDO, M.O.; CHE, A. Grey Weighted Sum Model for Evaluating Business Environment in West Africa. **Mathematical Problems in Engineering**, n. 3824350, 2016.
- ESPINILLA, M.; HALOUANI, N.; CHABCHOUB, H. Pure linguistic PROMETHEE I and II methods for heterogeneous MCGDM problems. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 8, n. 2, p. 250-264, 2015.
- FAHMI, A.; KAHRAMAN, C.; BILEN, U. ELECTRE I Method Using Hesitant Linguistic Term Sets: An Application to Supplier Selection. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 9, n. 1, p. 153-167, 2016.
- FAN, G.; ZHONG, D.; YAN, F.; YUE, P. A hybrid fuzzy evaluation method for curtain grouting efficiency assessment based on an AHP method extended by D numbers. **Expert Systems With Applications**, v. 44, p. 289-303, 2016.
- FENG, B.; FAN, Z. P.; MA, J. A method for partner selection of codevelopment alliances using individual and collaborative utilities. **International Journal of Production Economics**, v. 124, n. , p. 159-170, 2010.
- GENG, X. L.; LIU, Q. M. A hybrid service supplier selection approach based on variable precision rough set and VIKOR for developing product service system. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v 28, n. 10, p. 1063-1076, 2015.
- GENG, X.; GONG, X.; CHU, X. Component oriented remanufacturing decision-making for complex product using DEA and interval 2-tuple linguistic TOPSIS. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 9, n. 5, p. 984-1000, 2016.
- GITINAVARD, H.; MOUSAVI, S. M.; VAHDANI, B. A new multi-criteria weighting and ranking model for group decision-making analysis based on interval-valued hesitant fuzzy sets to selection problems. **Neural Computing & Applications**, v: 27, n. 6, p: 1593-1605, 2016.

GITINAVARD, Hossein; GHADERI, Hamid; PISHVAEE, Mir Saman. Green supplier evaluation in manufacturing systems: a novel interval-valued hesitant fuzzy group outranking approach. **Soft Computing**, p. 1-20, 2017.

GONG, Y. B. Fuzzy Multi-Attribute Group Decision Making Method Based on Interval Type-2 Fuzzy Sets and Applications to Global Supplier Selection. **International Journal of Fuzzy Systems**, v. 15, n. 4, p. 392-400, 2013.

GOVINDAN, K.; SIVAKUMAR, R. G. Supplier selection and order allocation in a low-carbon paper industry: integrated multi-criteria heterogeneous decision-making and multi-objective linear programming approaches. **Annals of Operations Research**, v 238, n. 1, p. 243-276, 2016.

GOVINDARAJU, R.; AKBAR, M. I.; GONDODIWIRYO, L.; SIMATUPANG, T. The Application of a Decision-making Approach based on Fuzzy ANP and TOPSIS for Selecting a Strategic Supplier. **Journal of Engineering and Technological Sciences**, v 47, n. 4, p 406-425, 2015.

GUARNIERI, Patricia. Synthesis of main criteria, methods and issues of multicriteria supplier selection. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 19, n. 1, p. 1-25, 2015.

GU, XIANG; WANG, YING; YANG, BEI. A method for hesitant fuzzy multiple attribute decision making and its application to risk investment. **Journal of Convergence information technology**, v. 6, n. 6, p. 282-287, 2011.

GÜMÜŞ, S. (2017). Dynamic Aggregation Operators Based on Intuitionistic Fuzzy Tools and Einstein Operations. **Fuzzy Information and Engineering**, 9(1), 45-65.

HAJLAOUI, S.; HALOUANI, N. Hesitant-fuzzy-promethee method. In: Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO), 2013 **5th International Conference on. IEEE**, 2013. p. 1-6.

HANINE, M.; BOUTKHOUM, O.; TIKNIOUINE, A.; AGOUTI, T. Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TODIM methods for landfill location selection. **Springer Plus**, 2016.

HASHEMIAN, Seyed Mohammad et al. A fuzzy hybrid group decision support system approach for the supplier evaluation process. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 73, n. 5-8, p. 1105-1117, 2014.

HE, Y. H.; WANG, L. B.; HE, Z. Z.; XIE, M. A fuzzy TOPSIS and Rough Set based approach for mechanism analysis of product infant failure. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v 47, p: 25-37, 2016.

HEIDARZADE, A.; MAHDAVI, I.; MAHDAVI-AMIRI, N. Multiple attribute group decision making method using a new similarity measure in interval type-2 fuzzy sets: A case study. **International Journal of Mathematics in Operational Research**, v. 9, n. 2, p. 139-166, 2016.

HO, William; XU, Xiaowei; DEY, Prasanta K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. **European Journal of operational research**, v. 202, n. 1, p. 16-24, 2010.

HUANG, M.; CUI, Y.; YANG S.; WANG X. Fourth party logistics routing problem with fuzzy duration time. **International Journal of Production Economics**, v. 145 p. 107–116, 2013.

HANSS, Michael. Applied fuzzy arithmetic. **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**, 2005.

IGOULALENE, I.; BENYUCEF, L.; TIWARI, M. K. Novel fuzzy hybrid multi-criteria group decision making approaches for the strategic supplier selection problem. **Expert Systems With Applications**, v. 42, n. 7, p. 3342-3356, 2015.

IZADIKHAH, M. Group decision making process for supplier selection with TOPSIS method under interval-valued intuitionistic fuzzy numbers. **Advances in Fuzzy Systems**, n. 407942, 2012.

JANTZEN, J. Foundations of fuzzy control. **John Wiley & Sons Ltd**, Inglaterra, 2007.

JASSBI, J.; SAEN, R. FARZIPOOR; LOTFI, F. HOSSEINZADEH; HOSSEININIA, SH. S. A new hybrid decision making system for supplier selection. **Rairo-Operations Research**, v. 50, n. 3, p. 645-664, 2016.

JIA, P.; GOVINDAN, K.; CHOI, T. M.; RAJENDRAN, S. Supplier Selection Problems in Fashion Business Operations with Sustainability Considerations. **Sustainability**, v. 7, n. 2, p. 1603-1619, 2015.

LI, J., BUTLER-PURRY, K. L., BENNER, C. L., & RUSSELL, B. D. Selecting a fuzzy aggregation operator for multicriteria fault location problem. In: **Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES. IEEE**, 2004. p. 1476-1482.

JU, Y. B.; YANG, S. H.; WANG, A. H. Some Aggregation Operators with Intuitionistic Trapezoid Fuzzy Linguistic Information and their Applications to Multi-Attribute Group Decision Making. **Applied Mathematics & Information Sciences**, v. 8, n. 5, p. 2427-2436, 2014.

KAHRAMAN, C.; OZTAYSI, B.; ONAR, S.C. A Multicriteria Supplier Selection Model Using Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets. **Journal of Multiple-valued Logic and Soft Computing**, v. 26, n. 3, p. 315-333, 2016.

KANNAN, D.; KHODAVERDI, R.; OLFAT, L.; JAFARIAN, A.; DIABAT, A. Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 355-367, 2013.

KANT, Ravi; DALVI, Manojkumar Vithalrao. Development of questionnaire to assess the supplier evaluation criteria and supplier selection benefits. Benchmarking: **An International Journal**, v. 24, n. 2, p. 359-383, 2017.

KAR, A. K. A hybrid group decision support system for supplier selection using analytic hierarchy process, fuzzy set theory and neural network. **Journal of Computational Science**, v. 6, p. 23-33, 2015.

KAR, A. K.; PANI, A. K. Exploring the importance of different supplier selection criteria. **Management Research Review**, v. 37, n. 1, p. 89-105, 2014.

KAR, A. K.; PANI, A. K. How can a group of procurement experts select suppliers? An approach for group decision support. **Journal of Enterprise Information Management**, v. 27, n. 4, p. 337-357, 2014.

KARSAK, E. E.; DURSUN, M. An Integrated QFD-DEA Framework with Imprecise Data for Supplier Selection. **Proceedings of the World Congress on Engineering**, v. 1, p. 3-8, 2013.

KARSAK, E. E.; DURSUN, M. An integrated fuzzy MCDM approach for supplier evaluation and selection. **Computers & Industrial Engineering**, v. 82, p. 82-93, 2015.

KARSAK, E. E.; DURSUN, M. An integrated supplier selection methodology incorporating QFD and DEA with imprecise data. **Expert Systems With Applications**, v. 41, n. 16, p. 6995-7004, 2014.

KESHAVARZ GHORABAE, M.; AMIRI, M.; SADAGHIANI, J. S.; GOODARZI, G. H. Multiple criteria group decision-making for supplier selection based on COPRAS method with interval type-2 fuzzy sets. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 75, n. 5, p. 1115-1130, 2014.

KESHAVARZ GHORABAE, M.; ZAVADSKAS, E. K.; AMIRI, M., ESMAEILI, A. Multi-criteria evaluation of green suppliers using an extended WASPAS method with interval type-2 fuzzy sets. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 213-229, 2016.

KHALEIE, S.; FASANGHARI, M.; TAVASSOLI, E. Supplier selection using a novel intuitionist fuzzy clustering approach. **Applied Soft Computing**, v. 12, n. 6, p. 1741-1754, 2012.

KRALJIC, Peter. Purchasing must become supply management. **Harvard business review**, v. 61, n. 5, p. 109-117, 1983.

KUMAR, F. N. U. P.; CLAUDIO, D. Implications of estimating confidence intervals on group fuzzy decision making scores. **Expert Systems With Applications**, v. 65, p. 152-163, 2016.

LI, Deng-Feng; WAN, Shu-Ping. Minimum Weighted Minkowski Distance Power Models for Intuitionistic Fuzzy Madm with Incomplete Weight Information. **International Journal of Information Technology & Decision Making**, v. 16, n. 05, p. 1387-1408, 2017.

LI, D. F.; WAN, S. P. A fuzzy inhomogenous multiattribute group decision making approach to solve outsourcing provider selection problems. **Knowledge-based systems**, v. 67, p. 71-89, 2014.

Li, L. H., Hang, J. C., Gao, Y., & Mu, C. Y. (2017). Using an Integrated Group Decision Method Based on SVM, TFN-RS-AHP, and TOPSIS-CD for Cloud Service Supplier Selection. **Mathematical Problems in Engineering**, 2017.

LI, S. T.; CHOU, W. C. Power planning in ICT infrastructure: A multi-criteria operational performance evaluation approach. **Omega International Journal of Management Science**, v. 49, p. 134-148, 2014.

LI, W.; GUO, G. Q.; YUE, C. Y.; ZHAO, Y. Dynamic programming methodology for multi-criteria group decision-making under ordinal preferences. **Journal of Systems Engineering and Electronics**, v. 21, n. 6, p. 975-980, 2010.

LI, W.; YUE, C. Y.; RAO, C. J. Minimizing ordinal preferences' distance to multi-attribute group decision-making. **Systems Engineering and Electronics**, v. 2, 2010.

LI, W.; DONG, F.; CHEN, Y. Dynamic programming approach to multi-attribute group decision making with ordinal preferences. **Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition)**, v. 37, n. 10, p. 48-51, 2009.

LI, Y.; DENG, Y.; CHAN, F. T. S.; LIU, J.; DENG, X. Y. An improved method on group decision making based on interval-valued intuitionistic fuzzy prioritized operators. **Applied Mathematical Modelling**, v. 38, n. 9, p. 2689-2694, 2014.

LIANG, D.; LIU, D.; KOBINA, A. Three-way group decisions with decision-theoretic rough sets. **Information Sciences**, v. 345, p. 46-64, 2016.

- LIAO, C. N.; KAO, H. P. Supplier selection model using Taguchi loss function, analytical hierarchy process and multi-choice goal programming. **Computers & Industrial Engineering**, v. 58, n. 4, p. 571-577, 2010.
- LIAO, H.; XU, Z.; ZENG, X-J. Distance and similarity measures for hesitant fuzzy linguistic term sets and their application in multi-criteria decision making. **Information Sciences**, v. 271, p. 125-142, 2014.
- LIKER, J. K.; CHOI, T. Y. Building Deep Supplier Relationships. **Harvard Business Review**, 2004.
- LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão & Produção**, p. 17-34, 2015.
- LIMA, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. **Applied Soft Computing**, v. 21, p. 194-209, 2014.
- LIMA JUNIOR, F. R. ; OSIRO, L. ; CARPINETTI, L. C. R. Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. **Gestão & Produção**, v. 20, p. 781-801, 2013.
- LIU, D. T.; ZHOU, D. J.; TAO, X. M. Method of suppliers selection for SMMEs based on UVAHP group decision making. **Journal of Software**, v. 17, n. SUPPL., p. 225-232, 2008.
- LIU, Xiaodi et al. Multiple Attribute Group Decision-Making Methods Under Hesitant Fuzzy Linguistic Environment. **Journal of Intelligent Systems**, v. 26, n. 2, p. 387-406, 2017.
- MADI, E. N.; GARIBALDI, J. M.; WAGNER, C. A Comparison between Two Types of Fuzzy TOPSIS Method. **International Conference on Systems, Man, and Cybernetics**, 2015.
- MAHMOUDI, A.; SADI-NEZHAD, S.; MAKUI, A. An extended fuzzy PROMETHEE based on Fuzzy Rule Based System for supplier selection problem. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 8, n. 31, p. 1-11, 2015.
- MAHMOUDI, A.; SADI-NEZHAD, S.; MAKUI, A. A Hybrid Fuzzy-Intelligent System for Group Multi-Attribute Decision Making. **International Journal of Fuzzy Systems**, v 18, n. 6, p. 1117-1130, 2016.
- MAHMOUDI, A.; SADI-NEZHAD, S.; MAKUI, A. An extended fuzzy VIKOR for group decision-making based on fuzzy distance to supplier selection. **Scientia Iranica**, v. 23, n. 4, P. 1879-1892, 2016.
- MATAWALE, C. R.; DATTA, S.; MAHAPATRA, S. S. Supplier/partner selection in agile supply chain Application of vague set as a decision making tool. **Benchmarking-an International Journal**, v. 23, n. 4, p. 866-892, 2016.
- MISHRA, S.; SAMANTRA, C.; DATTA, S.; MAHAPATRA, S. S. Multi-attribute group decision-making (MAGDM) for supplier selection using fuzzy linguistic modelling integrated with VIKOR method. **International Journal of Services and Operations Management**, v. 12, n. 1, p. 67-89, 2012.
- MOHAMMADI, Hamed et al. Green supplier selection by developing a new group decision-making method under type 2 fuzzy uncertainty. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 93, n. 1-4, p. 1443-1462, 2017.

MOUSAVI, S. M.; VAHDANI, B.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R.; TAJIK, N. Soft computing based on a fuzzy grey group compromise solution approach with an application to the selection problem of material handling equipment. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 27, n. 6, p. 547-569, 2014.

MOUSAKHANI, Saeed; NAZARI-SHIRKOUHI, Salman; BOZORGI-AMIRI, Ali. A novel interval type-2 fuzzy evaluation model based group decision analysis for green supplier selection problems: A case study of battery industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 205-218, 2017.

NEVES, M. F.; PINTO, M. J. A. A cadeia do algodão brasileiro: desafios e estratégias. **ABRAPA**, 2012.

NIA, A. S.; OLFAT, L.; ESMAEILI, A.; ROSTAMZADEH, R.; ANTUCHEVICIENE, J. Using fuzzy Choquet Integral operator for supplier selection with environmental considerations. **Journal of Business Economics and Management**, v. 17, n. 4, p. 2029-4433, 2016.

NGUYEN, H. A new interval-valued knowledge measure for interval-valued intuitionistic fuzzy sets and application in decision making. **Expert Systems with Applications**, v. 56, p. 143-155, 2016.

OSIRO, L.; LIMA-JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R. A fuzzy logic approach to supplier evaluation for development. **International Journal of Production Economics**, v. 153, p. 95-112, 2014.

ORTÍZ, M. A.; FELIZZOLA, H. A.; ISAZA, S. N. A contrast between DEMATEL-ANP and ANP methods for six sigma project selection: a case study in healthcare industry. **BMC Medical Informatics and Decision Making**, v. 15, suppl. 3, 2015.

ÖZTAYSI, B., ONAR, S. Ç., BOLTÜRK, E., & KAHRAMAN, C. Hesitant fuzzy analytic hierarchy process. In: **Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2015 IEEE International Conference on. IEEE**, 2015. p. 1-7.

PAPADIMITRIOU, Christos H. Computational complexity. **John Wiley and Sons Ltd.**, 2003.

PARK, J.; SHIN, K.; CHANG, T. W.; PARK, J. An integrative framework for supplier relationship management. **Industrial Management & Data Systems**, v. 110, n. 4, p. 495-515, 2010.

PENG, J. J.; WANG, J. Q.; WANG, J.; CHEN, X. H. Multicriteria Decision-Making Approach with Hesitant Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Sets. **The Scientific World Journal**, v. 2014, 2014.

PENG, J. J., WANG, J. Q., WANG, J., YANG, L. J., CHEN, X. H. An extension of ELECTRE to multi-criteria decision-making problems with multi-hesitant fuzzy sets. **Information Sciences**, v. 307, p. 113-126, 2015.

PRAMANIK, Dipika et al. Resilient supplier selection using AHP-TOPSIS-QFD under a fuzzy environment. **International Journal of Management Science and Engineering Management**, v. 12, n. 1, p. 45-54, 2017.

POLAT, Gul; ERAY, Ekin; BINGOL, Befrin Neval. An integrated fuzzy MCGDM approach for supplier selection problem. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 23, n. 7, p. 926-942, 2017.

QI, H. S.; ALZAABI, R. N.; WOOD, A. S.; JANI, M. A fuzzy criticality assessment system of process equipment for optimised maintenance management. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 28, n. 1, p. 112-125, 2015.

QI, X. W.; LIANG, C. Y.; ZHANG, J. L. Generalized cross-entropy based group decision making with unknown expert and attribute weights under interval-valued intuitionistic fuzzy environment. **Computers & Industrial Engineering**, v. 79, p. 52-64, 2015.

QI, X.-W.; LIANG, C.-Y.; HUANG, Y. Q.; DING, Y. Multi-attribute group decision making method based on hybrid evaluation matrix. **System Engineering Theory and Practice**, v. 33, n. 2, p. 473-481, 2013.

QIN, Jindong; LIU, Xinwang; PEDRYCZ, Witold. A multiple attribute interval type-2 fuzzy group decision making and its application to supplier selection with extended LINMAP method. **Soft Computing**, v. 21, n. 12, p. 3207-3226, 2017.

QIN, Jindong; LIU, Xinwang; PEDRYCZ, Witold. An extended TODIM multi-criteria group decision making method for green supplier selection in interval type-2 fuzzy environment. **European Journal of Operational Research**, v. 258, n. 2, p. 626-638, 2017.

QIN, J. D.; LIU, X. W. 2-tuple linguistic Muirhead mean operators for multiple attribute group decision making and its application to supplier selection. **Kybernetes**, v. 45, n. 1, p. 2-29, 2016.

QIN, J. D.; LIU, X. W. Frank Aggregation Operators for Triangular Interval Type-2 Fuzzy Set and Its Application in Multiple Attribute Group Decision Making. **Journal of Applied Mathematics**, n. 923213, 2014.

QIN, J.; LI, Y.; CHEN, Z. Group decision making method for supplier selection based on maximum entropy optimization model and Choquet integral. **Computer Integrated Manufacturing Systems**, v. 21, n. 10, p. 2746-2759, 2015.

QU, G., LI, Y., QU, W., LI, C. (Some new Shapley dual hesitant fuzzy Choquet aggregation operators and their applications to multiple attribute group decision making-based TOPSIS. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 33, n. 4, p. 2463-2483, 2017.

RANDOLPH, Justus J. A guide to writing the dissertation literature review. **Practical Assessment, Research & Evaluation**, v. 14, n. 13, p. 1-13, 2009.

RAO, C; ZHENG, J.; WANG, C.; XIAO, X. A hybrid multi-attribute group decision making method based on grey linguistic 2-tuple. **Iranian Journal of Fuzzy Systems**, v. 13, n. 2, p. 37-59, 2016.

RAO, Congjun et al. Low carbon supplier selection under multi-source and multi-attribute procurement. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 32, n. 6, p. 4009-4022, 2017.

RAO, C., XIAO, X., GOH, M., ZHENG, J., & WEN, J. Compound mechanism design of supplier selection based on multi-attribute auction and risk management of supply chain. **Computers & Industrial Engineering**, v. 105, p. 63-75, 2017.

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 of Advanced Manufacturing Technology**, v. 43, p. 590-607.

REN, Hai-Ping et al. A MAGDM method considering the amount and reliability information of interval-valued intuitionistic fuzzy sets. **International Journal of Fuzzy Systems**, v. 19, n. 3, p. 715-725, 2017.

RODRIGUEZ, R. M.; MART, L.; HERRERA, F. Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets for Decision Making. **IEEE Transactions on fuzzy systems**, v. 20, n. 1, p. 109–119, 2012.

RODRIGUEZ, R. M.; MARTINEZ, L.; HERRERA, F. A group decision making model dealing with comparative linguistic expressions based on hesitant fuzzy linguistic term sets. **Information Sciences**, v. 241, p. 28–42, 2013.

ROOSTAEE, R.; IZADIKHAH, M.; LOTFI, F.H.; ROSTAMY-MALKHALIFEH, M. A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making method for supplier selection with vikor method. **International Journal of Fuzzy System Applications**, v. 2, n. 1, p. 1-17, 2012.

ROUYENDEGH, B. D. Developing an integrated ahp and intuitionistic fuzzy topsis methodology. **Tehnicki Vjesnik-technical Gazette**, v. 21, n. 6, p. 1313-1319, 2014.

ROUYENDEGH, B. D. Developing an Integrated ANP and Intuitionistic Fuzzy TOPSIS Model for Supplier Selection. **Journal of Testing and Evaluation**, v. 43, n. 3, p. 664-672, 2015.

ROSS, T. J. Fuzzy logic with engineering applications. Second Edition. **John Wiley E Sons**, 2004.

SADEGHI, M.; RASHIDZADEH, M. A.; SOUKHAKIAN, M. A. Using Analytic Network Process in a Group Decision-Making for Supplier Selection. **Informática**, v. 23, n. 4, p. 621-643, 2012.

SAHU, AK.; DATTA, S.; MAHAPATRA, S S. Evaluation and selection of resilient suppliers in fuzzy environment Exploration of fuzzy-VIKOR. **Benchmarking an International Journal**, v. 23, n. 3, p. 651-673, 2016.

SAHU, N. K.; DATTA, S.; MAHAPATRA, S. S. Green supplier appraisalment in fuzzy environment. **Benchmarking**, v. 21, n. 3, p. 412-429, 2014.

SANAYEI, A.; MOUSAVI, S. F.; ABDI, M. R.; MOHAGHAR, A. 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 Engineering and Applied Mathematics**, v. 345, n. 7, p. 731-747, 2008.

SANAYEI, A.; MOUSAVI, S. F.; YAZDANKHAH, A. Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment. **Expert Systems With Applications**, v. 37, n. 1, p. 24-30, 2010.

SARADHI, B. P.; SHANKAR, N. R.; SURYANARAYANA, C. Novel Distance Measure in Fuzzy TOPSIS for Supply Chain Strategy Based Supplier Selection. **Mathematical Problems in Engineering**, n. 7183407, 2016.

SARDAR, S.; LEE, Y. H.; MEMON, M. S. A sustainable outsourcing strategy regarding cost, capacity flexibility, and risk in a textile supply chain. **Sustainability**, v. 8, n. 3, 2016.

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

SEGURA, Marina; MAROTO, Concepción. A multiple criteria supplier segmentation using outranking and value function methods. **Expert Systems with Applications**, v. 69, p. 87-100, 2017.

SEPEHRIAR, A.; ESLAMIPOOR, R.; NOBARI, A. A new mixed fuzzy-LP method for selecting the best supplier using fuzzy group decision making. **Neural Computing & Applications**, v. 23, p. S345-S352, 2013.

SHAN, M. M.; YOU, JX.; LIU, H. C. Some Interval 2-Tuple Linguistic Harmonic Mean Operators and Their Application in Material Selection. **Advances in Materials Science and Engineering**, n. 7034938, 2016.

SHARIATI, Shahram et al. Critical factors of the application of nanotechnology in construction industry by using ANP technique under fuzzy intuitionistic environment. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 23, n. 7, p. 914-925, 2017.

SETAK, M.; SHARIF, S.; ALIMOHAMMADIAN, A. Supplier Selection and Order Allocation Models in Supply Chain Management: A Review. **World Applied Sciences Journal**, v. 18, n. 1, p. 55-72, 2012.

SHEMASHADI, A. ; SHIRAZI, H.; TOREIHI, M.; TAROKH, M. J. 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.

SMOLÍKOVÁ, Renata; WACHOWIAK, Mark P. Aggregation operators for selection problems. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 131, n. 1, p. 23-34, 2002.

SODENKAMP, M. A.; TAVANA, M.; CAPRIO, D. D. Modeling synergies in multi-criteria supplier selection and order allocation: An application to commodity trading. **European Journal of Operational Research**, v. 254, n. 3, p. 859-874, 2016.

SOUZA, S. S. S.; FIGUEIREDO, A. M. R.; BONJOUR, S. C. M.; MARTA, J. M. C. M. Análise dos canais de comercialização do algodão colorido no estado do Mato Grosso. **Congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural**, v. 42, 2004.

SZMIDT, E.; KACPRZYK, J. Distances between intuitionistic fuzzy sets. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 114, n. 3, p. 505-518, 2000.

TAMOŠAITIENĖ, J., ZAVADSKAS, E. K., ŠILEIKAITĖ, I., TURSKIS, Z. A novel hybrid MCDM approach for complicated supply chain management problems in construction. **Procedia Engineering**, v. 172, p. 1137-1145, 2017.

TAN, C. Q.; WU, D. D.; MA, B. J. Group decision making with linguistic preference relations with application to supplier selection. **Expert Systems With Applications**, v. 38, n. 12, p. 14382-14389, 2011.

TAO, Z. F.; CHEN, H. Y.; SONG, X.; ZHOU, L. G.; LIU, J. P. Uncertain linguistic fuzzy soft sets and their applications in group decision making. **Applied Soft Computing**, v. 34, p. 587-605, 2015.

TAYLAN, O.; BAFAIL, A. O.; ABDULAAL, R. M. S.; KABLI, M. R. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. **Applied Soft Computing**, V. 17, P. 105-116, 2014.

THIRUCHELVAM S.; TOOKEY, J. E. Evolving trends of supplier selection criteria and methods. **International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME)**, v. 4, p. 437-454, 2011.

TONG, X.; WANG, Z. A Group Decision Framework with Intuitionistic Preference Relations and Its Application to Low Carbon Supplier Selection. **International journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 923, 2016.

TORRA, V. Hesitant fuzzy sets. **International Journal of Intelligent Systems**, v.25, p: 529–539, 2010.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, p. 207–222, 2003.

TSUI, C. W.; WEN, U. P. A Hybrid Multiple Criteria Group Decision-Making Approach for Green Supplier Selection in the TFT-LCD Industry. **Mathematical Problems in Engineering**, n. 709872, 2014.

WAN, Shu-ping; XU, Gai-li; DONG, Jiu-ying. Supplier selection using ANP and ELECTRE II in interval 2-tuple linguistic environment. **Information Sciences**, v. 385, p. 19-38, 2017.

WAN, Shu-ping; LIN, Li-Lian; DONG, Jiu-ying. MAGDM based on triangular Atanassov's intuitionistic fuzzy information aggregation. **Neural Computing and Applications**, v. 28, n. 9, p. 2687-2702, 2017.

WAN, S. P.; LI, D. F. Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Programming Method for Heterogeneous Multiattribute Group Decision Making With Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Truth Degrees. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**. Volume: 22, n. 2, p. 300-312, 2014.

WAN, S. P.; DONG, J. Y. Power geometric operators of trapezoidal intuitionistic fuzzy numbers and application to multi-attribute group decision making. **Applied Soft Computing**, v. 29, p. 153-168, 2015.

WAN, S. P.; LI, D. F. Fuzzy LINMAP approach to heterogeneous MADM considering comparisons of alternatives with hesitation degrees. **Omega International Journal of Management Science**, v. 41, n. 6, Páginas: 925-940, 2013.

WANG, Wen-Pai. A fuzzy linguistic computing approach to supplier evaluation. **Applied Mathematical Modelling**, v. 34, n. 10, p. 3130-3141, 2010.

WANG, C.; CAI, X.; LI, B. Fuzzy comprehensive evaluation based on multi-attribute group decision making for business intelligence system. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 31, n. 4, p. 2203-2212, 2016.

WANG, Yu-Jie; LEE, Hsuan-Shih. Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making. **Computers & Mathematics with Applications**, v. 53, n. 11, p. 1762-1772, 2007.

WANG, F.; ZENG, S. Z.; ZHANG, C. H. A Method Based on Intuitionistic Fuzzy Dependent Aggregation Operators for Supplier Selection. **Mathematical Problems in Engineering**, n 481202, 2013.

WANG, H.; XU, Z. Multi-Groups Decision Making using Intuitionistic-valued Hesitant Fuzzy Information. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 9, n. 3, p. 468-482, 2016.

WANG, J. W.; CHENG, C. H.; KUN-CHENG, H. Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection. **Applied Soft Computing**, v. 9, n. 1, p. 377-386, 2009.

WANG, Q. F.; LV, H. B. Supplier Selection Group Decision Making in Logistics Service Value Cocreation Based on Intuitionistic Fuzzy Sets. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, n. 719240, 2015.

WANG, Q.; HONGBO, L. Supplier Selection Group Decision Making in Logistics Service Value Cocreation Based on Intuitionistic Fuzzy Sets. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, v. 2015, 2015.

WAN, Shu-Ping; JIN, Zhen; DONG, Jiu-Ying. Pythagorean fuzzy mathematical programming method for multi-attribute group decision making with Pythagorean fuzzy truth degrees. **Knowledge and Information Systems**, p. 1-30, 2017.

WANG, T. C.; LEE, H. D. Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert Systems with Applications*, v. 35, n. 5, p. 8980-8985, 2009.

WANG, Xiaodong; CAI, Jianfeng. A group decision-making model based on distance-based VIKOR with incomplete heterogeneous information and its application to emergency supplier selection. **Kybernetes**, v. 46, n. 3, p. 501-529, 2017.

WEBER, C. A., CURRENT, J. R., & BENTON, W. C. Vendor selection criteria and methods. **European Journal of Operational Research**, v. 50, n. 1, p. 2-18, 1991.

WEBER, Charles A.; CURRENT, John R.; BENTON, W. C. Vendor selection criteria and methods. **European journal of operational research**, v. 50, n. 1, p. 2-18, 1991.

WEN, L.; XU, L.; WANG, R. Sustainable supplier evaluation based on intuitionistic fuzzy sets group decision methods. **Journal of Information and Computational Science**, v. 10, n. 10, p. 3209-3220, 2013.

WILL M. BERTRAND, J.; FRANSOO, Jan C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 241-264, 2002.

WU, D. S. Supplier selection in a fuzzy group setting: A method using grey related analysis and Dempster-Shafer theory. **Expert Systems With Applications**, v. 36, n. 5, p. 8892-8899, 2009.

XUE, Min; DU, Yifei. A group decision-making model based on regression method with hesitant fuzzy preference relations. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2017, 2017.

XUE, Y. X., YOU, J. X., LAI, X. D., LIU, H. C. An interval-valued intuitionistic fuzzy MABAC approach for material selection with incomplete weight information. **Applied Soft Computing**, v. 38, p. 703-713, 2016.

XU, J. P.; SHEN, F. A new outranking choice method for group decision making under Atanassov's interval-valued intuitionistic fuzzy environment. **Knowledge-based Systems**, v. 70, n. SI, p. 177-188, 2014.

XU, ZESHUI. Intuitionistic fuzzy aggregation operators. **IEEE Transactions on fuzzy systems**, v. 15, n. 6, p. 1179-1187, 2007.

XU, ZE SHUI. Methods for aggregating interval-valued intuitionistic fuzzy information and their application to decision making. **Control and decision**, v. 22, n. 2, p. 215-219, 2007.

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

YAGER, RONALD R.; KACPRZYK, JANUSZ; BELIAKOV, GLEB (Ed.). Recent developments in the ordered weighted averaging operators: theory and practice. **Springer Science & Business Media**, 2011.

YAYLA, A. Y.; YILDIZ, A.; OZBEK, A. Fuzzy TOPSIS Method in Supplier Selection and Application in the Garment Industry. **FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe**, v. 20, n. 4, p. 20-23, 2012.

YANG, Wei; CHEN, Zhiping; ZHANG, Fang. New group decision making method in intuitionistic fuzzy setting based on TOPSIS. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 23, n. 3, p. 441-461, 2017.

YANG, L.; ZHU, Y. Q.; LIAO, G. J. Method based on lexicographic preferences to select military material suppliers. **Systems Engineering and Electronics**, v. 37, n. 4, p. 825-831, 2015.

YANG, W. Induced choquet integrals of 2-tuple linguistic information. **International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-based Systems**, v. 21, n. 2, p. 175-200, 2013.

YAZDANI-CHAMZINI, A. An integrated fuzzy multi criteria group decision making model for handling equipment selection. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 20, n. 5, p. 660-673, 2014.

YOU, X. Y.; YOU, J. X.; LIU, H. C.; ZHEN, L. Group multi-criteria supplier selection using an extended VIKOR method with interval 2-tuple linguistic information. **Expert Systems With Applications**, v. 42, n. 4, p. 1906-1916, 2015.

YU, D. J. Triangular Atanassov's intuitionistic fuzzy Bonferroni mean and application to supplier selection. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 28, n. 6, p. 2785-2791, 2015.

YU, D.; LI, D.; MERIGO, J. M. Dual hesitant fuzzy group decision making method and its application to supplier selection. **International Journal of Machine Learning and Cybernetics**, v. 7, n. 5, p. 819-831, 2016.

YUAN, Y.; GUAN, T.; YAN, X. B.; LI, Y. J. Based on hybrid VIKOR method decision making model for supplier selection. **Control and Decision**, v. 29, n. 3, p. 551-560, 2014.

YUE, Z. L. Aggregating crisp values into intuitionistic fuzzy number for group decision making. **Applied Mathematical modeling**, v. 38, n. 11-12, p. 2969-2982, 2014.

YUE, Z. L. An avoiding information loss approach to group decision making. **Applied Mathematical Modeling**, v. 37, n. 1-2, p. 112-126, 2013.

YUE, Z. L. Group decision making with multi-attribute interval data. **Information Fusion**, v. 14, n. 4, p. 551-561, 2013.

YUE, Z. L. TOPSIS-based group decision-making methodology in intuitionistic fuzzy setting. **Information Sciences**, v. 277, p. 141-153, 2014.

YUE, Z. L.; JIA, Y. J. A method to aggregate crisp values into interval-valued intuitionistic fuzzy information for group decision making. **Applied Soft Computing**, v. 13, n. 5, p. 2304-2317, 2013.

YUE, Z. L.; JIA, Y. Y. A group decision making model with hybrid intuitionistic fuzzy information. **Computers & Industrial Engineering**, v. 87, p. 202-212, 2015.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets, Memo. ERL, No. 64-44. **Univ. of California**, Berkeley, 1964.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZADEH, L. Communication Fuzzy Algorithms. **Information and Control**, v. 12, p. 94-102, 1968.

ZAVADSKAS, Edmundas Kazimieras et al. Integrated group fuzzy multi-criteria model: Case of facilities management strategy selection. **Expert Systems with Applications**, v. 82, p. 317-331, 2017.

ZIMMERMANN, H. J. Fuzzy set theory. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, v. 2, n. 3, p. 317-332, 2010.

ZHANG, D. F.; ZHANG, J. L.; LAI, K. K.; LU, Y. B. An novel approach to supplier selection based on vague sets group decision. **Expert Systems With Applications**, v. 36, n. 5, p. 9557-9563, 2009.

ZHANG, Wenkai; JU, Yanbing; LIU, Xiaoyue. Interval-valued intuitionistic fuzzy programming technique for multicriteria group decision making based on Shapley values and incomplete preference information. **Soft Computing**, v. 21, n. 19, p. 5787-5804, 2017.

ZHANG, Jun Ling; QI, Xiao Wen; HUANG, Hai Bin. A hesitant fuzzy multiple attribute group decision making approach based on TOPSIS for parts supplier selection. In: **Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications**, 2013. p. 2730-2737.

ZHANG, S.; LIU, S. A GRA-based intuitionistic fuzzy multi-criteria group decision making method for personnel selection. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 9, p. 11401-11405, 2011.

ZHANG, X. G.; DENG, Y.; CHAN, F. T. S.; MAHADEVAN, S. A fuzzy extended analytic network process-based approach for global supplier selection. **Applied Intelligence**, v. 43, n. 4, p. 760-772, 2015.

ZHANG, XIAOLU; XU, ZESHUI; XING, XIAOMING; Hesitant fuzzy programming technique for multidimensional analysis of hesitant fuzzy preferences. **Or Spectrum**, v. 38, n. 3, p. 789-817, 2016.

ZHANG, Y. X.; ZHANG, Q.; ZHAO, J. An approach based on the I-IGLOWG and the IGLWG operators to multiple attributes group decision making. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 27, n. 3, p. 1277-1283, 2014.

ZHANG, Y.; WANG, Y.; WANG, J.; MA, P.; SU, X.; ZHANG, H. A method based on correlation coefficient for interval-valued intuitionistic fuzzy multiple attribute group decision making. **Information**, v. 16, n. 9 B, p. 6867-6880, 2013.

ZHANG, Z.; CHEN, J.; HU, Y.; YANG, J.; YE, Y.; CHEN, J. A dynamic fuzzy group decision making method for supplier selection. **Journal of Applied Sciences**, v. 13, n. 14, p. 2788-2794, 2013.

ZHANG, ZHEN.; GUO, CHONGHUI. A VIKOR-Based Approach to Group Decision Making With Uncertain Preference Ordinals and Incomplete Weight Information. **Informatica**, v. 27, n. 3, p. 689-708, 2016.

ZENG, SHOUZHEN. Pythagorean fuzzy multiattribute group decision making with probabilistic information and OWA approach. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 32, n. 11, p. 1136-1150, 2017.

ZHOU, X. H.; YAO, J. Interval-valued intuitionistic trapezoidal fuzzy geometric bonferroni means and its application. **Journal of University of Shanghai for Science and Technology**, v. 36, n. 5, p. 461-468, 2014.

ZHOU, X.; PEDRYCZ, W.; KUANG, Y.; ZHANG, Z. Type-2 fuzzy multi-objective DEA model: An application to sustainable supplier evaluation. **Applied Soft Computing**, v. 46, p. 424–440, 2016.